

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA,
SCUOLA DI INGEGNERIA



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA ELETTRICA

TESI DI LAUREA

Analisi del processo e della spesa energetica di un'azienda
di trattamento rifiuti

RELATORI

Prof. Davide Poli

Prof. Romano Giglioli

CANDIDATO

Filippo Gelli

ANNO ACCADEMICO 2015-2016

Un impianto di trattamento rifiuti, sia liquidi che solidi, presenta numerose linee di lavorazione caratterizzate da un'elevata dinamicità e flessibilità dovuta alla continua variazione del rifiuto in ingresso. Questa continua evoluzione dell'impianto, con una logica di pianificazione di breve termine, potrebbe comportare inefficienze gestionali ed energetiche, date prevalentemente dal fatto che ogni linea di trattamento lavora a compartimenti, con una assenza di coordinamento generale.

Questa tesi si pone innanzitutto l'obiettivo di analizzare ciascuna linea di trattamento, identificando in ognuna di esse le utenze più rilevanti dal punto di vista energetico; su queste saranno installate apposite strumentazione di misura puntuale, al fine di coordinare e gestire le operazioni in modo centralizzato. Per ogni trattamento sono stati definiti degli indici di prestazione energetica (KPI) che saranno integrati nel sistema di monitoraggio, in modo da avere un parametro sintetico sull'intensità energetica dei processi in atto.

L'analisi della bolletta elettrica, unitamente allo studio dei profili di carico, ha evidenziato alcuni costi emergenti e dei possibili costi cessanti. Dopo una breve analisi delle normative vigenti inerenti agli impianti di produzione di energia elettrica, sono state valutate varie possibilità di sistemi di cogenerazione volte all'efficientamento energetico dell'impianto.

Indice

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introduzione | 5 |
| 2 | Identificazione del processo e delle utenze più energivore..... | 7 |
| 2.1 | Introduzione..... | 7 |
| 2.2 | Conferimento del rifiuto | 7 |
| 2.3 | Rifiuti solidi non pericolosi | 8 |
| 2.4 | Rifiuti pericolosi..... | 10 |
| 2.5 | Rifiuti liquidi non pericolosi | 12 |
| 2.6 | Trattamento biologico | 15 |
| 3 | Criteri di Tariffazione dell'energia elettrica | 19 |
| 3.1 | Introduzione..... | 19 |
| 3.2 | La struttura tariffaria..... | 20 |
| 3.2.1 | Tariffa di Misura | 21 |
| 3.2.2 | Tariffa di Trasmissione | 21 |
| 3.2.3 | Tariffa di Distribuzione..... | 22 |
| 3.2.4 | Componenti UC | 24 |
| 3.2.5 | Componenti A | 24 |
| 3.3 | Clienti sul libero Mercato:..... | 27 |
| 3.3.1 | Tariffa di Dispacciamento..... | 27 |
| 3.3.2 | Tariffa di fornitura..... | 28 |
| 3.4 | Imposte erariali | 28 |
| 3.5 | Clienti sotto maggior tutela | 29 |
| 3.6 | Tariffa di Salvaguardia | 30 |
| 4 | Analisi della bolletta Elettrica dell'azienda Waste s.p.a | 31 |
| 4.1 | Introduzione..... | 31 |
| 4.2 | Bolletta Energetic Source | 31 |
| 4.3 | Bolletta elettrica Multiutility | 32 |
| 4.4 | Possibili azioni migliorative | 33 |
| 5 | Analisi dei consumi di Energia Elettrica registrati nel punto di fornitura | 35 |
| 5.1 | Analisi profilo via Confina..... | 35 |
| 5.2 | Analisi profilo di via Malpasso | 40 |
| 5.3 | Possibile interconnessione dei due sistemi..... | 44 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6 | Analisi dei consumi mensili registrati ai contatori dei vari impianti dello stabilimento | 46 |
| 7 | Trattamento acque reflue..... | 51 |
| 7.1 | Introduzione..... | 51 |
| 7.2 | Riferimenti normativi | 51 |
| 7.3 | Caratteristiche del refluo | 52 |
| 7.4 | Tipologie di trattamento | 58 |
| 7.5 | Trattamento chimico fisico..... | 59 |
| 7.6 | Trattamento biologico | 61 |
| 8 | Analisi energetico-economica del trattamento biologico con il neo impianto ad ossigeno liquido | 67 |
| 9 | Conclusioni | 70 |
| 10 | Bibliografia | 71 |
| 11 | Appendice | 72 |

1 Introduzione

Il presente lavoro nasce in virtù di un progetto di ricerca e sviluppo bandito dalla regione Toscana, rivolto alle piccole e medie imprese.

Il progetto, denominato i-WASTE, acronimo di Informatization WASTE System Treatment for Energy, è stato presentato dall'azienda Waste recycling ed ha una durata complessiva di due anni.

Il progetto prevede la collaborazione dell'Università di Pisa, il cui compito è quello di analizzare le varie linee di trattamento e determinare un modello di ottimizzazione, e di altre due aziende, Sinergest e Alleantia, che si occupano rispettivamente dell'implementazione hardware e software.

Un impianto di trattamento rifiuti, sia liquidi che solidi, tradizionalmente consta di numerose linee di lavorazione svolte con cadenze temporali differenti. Le lavorazioni di selezione, movimentazione, triturazione, stabilizzazione dei rifiuti solidi e di depurazione dei rifiuti liquidi, sono tutte fasi attuate con logiche a comparto (dette "isole"). L'obiettivo del progetto iWASTE consiste nell'innovare questo sistema di produzione, rendendolo "Smart"(intelligente), sfruttando le moderne tecnologie dell'informazione, in modo da creare la base per lo sviluppo e la pianificazione di nuovi e più efficienti flussi di lavoro, nonché di logiche che ottimizzino le attività e nel contempo riducano i consumi energetici primari.

Questa tesi si colloca nella prima fase del progetto. Inizialmente sono state studiate le principali linee di trattamento in funzione della tipologia e delle caratteristiche del rifiuto. L'azienda è suddivisa in due aree principali: una risulta essere sede del trattamento biologico, mentre nell'altra risiedono il trattamento chimico-fisico e una serie di linee del trattamento dei rifiuti solidi, pericolosi e non. Questa analisi ha portato alla redazione di bilanci di massa ed energia, come primo passo per un *audit* energetico.

L'analisi è risultata alquanto critica poiché, all'interno dell'impianto, le misure disponibili erano riconducibili solamente a quelle delle singole aree di trattamento ed avevano una cadenza mensile. Per questo è stato necessario ricostruire, in modo indiretto, tramite le informazioni disponibili, i possibili profili di carico relativi a ciascuna utenza.

Successivamente sono state determinate le utenze più energivore in modo da installare su di esse opportune strumentazioni di misura per monitorarne l'andamento puntuale e, dove possibile, apportare logiche di ottimizzazione. Le letture dei sensori, come prevede il progetto, verranno integrate in unica piattaforma gestionale web-based. Per identificare il processo in maniera qualitativa e sintetica, sono stati definiti degli opportuni indici di prestazione energetica (KPI), i quali potranno fornire utili informazioni riassuntive del processo in atto.

Per l'analisi dei flussi energetici, inizialmente sono state valutate le bollette elettriche; queste hanno evidenziato la diversa tipologia dei carichi dei due impianti. L'analisi energetica è stata seguita da una serie di considerazioni con risvolti economici, quali il pagamento di penali per eccesso di prelievo di potenza reattiva, il superamento ripetitivo della potenza contrattuale, e infine una tariffa di fornitura con

prezzi eccedenti rispetto a quelli attuali di mercato. Sono stati inoltre valutati i possibili impatti economici dovuti all'installazione di sistemi di generazione elettrica; in particolare sono analizzate le diverse tipologie impiantistiche in funzione delle normative vigenti.

Successivamente è stata fatta un'analisi puntuale dei profili di carico registrati nei due punti di fornitura. Questa ha confermato ciò che era stato previsto dall'analisi dei consumi mensili: esiste un profilo di carico pressoché costante per il depuratore, mentre è risultato un profilo estremamente oscillante per l'altro impianto. È stata inoltre studiata l'evoluzione del carico nell'eventualità in cui i due sistemi fossero interconnessi, descrivendone i relativi vantaggi.

Poiché attualmente non sono presenti sistemi di misura puntuali, sono stati analizzati i dati registrati ai contatori relativi a ciascuna linea di trattamento aventi una cadenza mensile. Questo dato ha portato a definire le possibili linee d'intervento per ciascun impianto, volti all'ottimizzazione energetico-economica.

Infine è stato approfondito il sistema di trattamento delle acque reflue, in particolare il trattamento biologico. Una rassegna teorica della tecnologia è stata necessaria per comprendere i principi di funzionamento di un depuratore; in particolare è stato utile per capire il cambiamento impiantistico che ha sostenuto la Waste Recycling passando da un impianto di ossigenazione ad aria, ad uno ad ossigeno liquido. Il tutto è stato seguito da un'analisi differenziale, sia dal punto di vista energetico, riscontrando un indubbio miglioramento, sia sotto il profilo economico.

2 Identificazione del processo e delle utenze più energivore

2.1 Introduzione

La prima fase del progetto iWASTE è costituita dall'identificazione dei processi e delle varie linee di lavorazione, in modo da evidenziare le utenze più energivore. Su queste, dove assenti, verranno installate degli strumenti di misura in modo da monitorare il processo in tempo reale, e, in un'ottica più generale, eliminare le inefficienze dell'impianto.

Al fine di identificare l'efficienza di una certa linea di lavorazione, è stato identificato, dove possibile, un parametro sintetico di particolare rilevanza, un KPI, ovvero un indice di performance. Questo indice, sarà integrato nel software di gestione dei processi, in modo da dare un'informazione che sintetizzi le misure effettuate fornendo informazioni identificative del processo.

2.2 Conferimento del rifiuto

Il conferimento del rifiuto all'impianto è soggetto ad un'accurata procedura di controllo preventivo, finalizzato alla classificazione e all'omologazione di ogni tipo di rifiuto. Questa operazione garantisce un'adeguata conoscenza preventiva di ogni rifiuto conferito, in modo da poter stabilire il ciclo di trattamento più adatto e inoltre poter calibrare correttamente l'offerta commerciale al cliente. In seguito all'accettazione dell'offerta, viene redatta una programmazione per il conferimento del rifiuto all'azienda, in modo da ottimizzare la logistica ed i cicli di trattamento.

Il rifiuto viene trasportato presso l'azienda accompagnato dal formulario, ovvero il documento di trasporto del rifiuto. Dopo una prima fase di pesa, viene verificato che il rifiuto sia stato omologato, che rispetti il programma di conferimento e infine che il rifiuto trasportato corrisponda a quello omologato. Nell'eventualità in cui il rifiuto non presenti le caratteristiche dichiarate nell'omologa, in particolare nel caso in cui esso necessiti di un ciclo di trattamento diverso da quello preventivato, il rifiuto viene respinto.

Il percorso del rifiuto si differenzia in base al tipo del rifiuto stesso. Questo può essere suddiviso in tre principali categorie:

- rifiuti pericolosi,
- rifiuti solidi non pericolosi,
- rifiuti liquidi non pericolosi.

2.3 Rifiuti solidi non pericolosi

Lo smaltimento dei rifiuti solidi non pericolosi rappresenta una delle linee di lavorazione principali dell'azienda. Dopo la pesa e una verifica organolettica, il rifiuto viene scaricato nell'area 7 dove un operatore decide se esso va trattato come indifferenziato o invece è selezionabile. Nel primo caso, il rifiuto risulta essere troppo sporco o inquinato e viene pertanto triturato tramite un tritratore mobile a gasolio per essere poi smaltito all'esterno; nel secondo caso, invece, viene trasportato all'impianto di selezione (area 8). In questo reparto, tramite un'azione semiautomatica vengono differenziati i rifiuti in base alla loro tipologia: dapprima un vaglio elimina la frazione fisica, successivamente un'elettrocalamita elimina la componente ferrosa, infine gli operatori in cabina selezionano i vari materiali per avviarli verso un percorso di valorizzazione del rifiuto. Questo impianto ha una potenza elettrica installata di 60 kW, con picchi di potenza assorbita nel momento in cui il rifiuto passa attraverso la pressa, tuttavia questa lavora in maniera saltuaria e discontinua in quanto viene utilizzata solo per pressare la carta. La frazione legnosa viene raccolta nell'area 9, mentre la rimanente parte del rifiuto differenziato viene raccolto in apposite baie nell'area 8. In questa sezione le uniche misure presenti sono inerenti a quelle del contatore collegato al quadro che alimenta tutta la linea di trattamento, con letture manuali visive mensili ai fini della rendicontazione. Il materiale in ingresso all'impianto di selezione non è pesato, l'unica misura quantitativa è fatta sul materiale selezionato in uscita dall'impianto, pertanto l'unico parametro definibile riguardante il consumo specifico è un rapporto giornaliero tra l'energia consumata in questo reparto e il quantitativo di materiale selezionato e non, in uscita dall'impianto. Il rifiuto differenziato viene quindi stoccato nella zona 9, mentre la frazione di rifiuto indifferenziato viene accumulato in attesa di uno smaltimento verso l'esterno. È prevista nel progetto iWASTE l'installazione di un punto di misura al quadro di alimentazione dello stabilimento in modo da avere una misura continua.

In Fig.1 è rappresentata la legenda utilizzata per tracciare i diagrammi di flusso, ovvero il rettangolo verde è stato utilizzato per identificare i macchinari più energivori, l'ellisse rossa è stata utilizzata per identificare le utenze a valle di ciascun contatore di misura, con il rettangolo viola è stato identificato il confine fisico dell'area destinata ad un certo trattamento ed infine la stella è stata utilizzare per rappresentare i macchinari che sono, o saranno, dotati di strumentazione di misura puntuale apposita.



Figura 1:Legenda utilizzata per tracciare i diagrammi di flusso

In Fig.2 è rappresentato il diagramma di flusso relativo al processo di trattamento rifiuti solidi non pericolosi, precedentemente descritto.

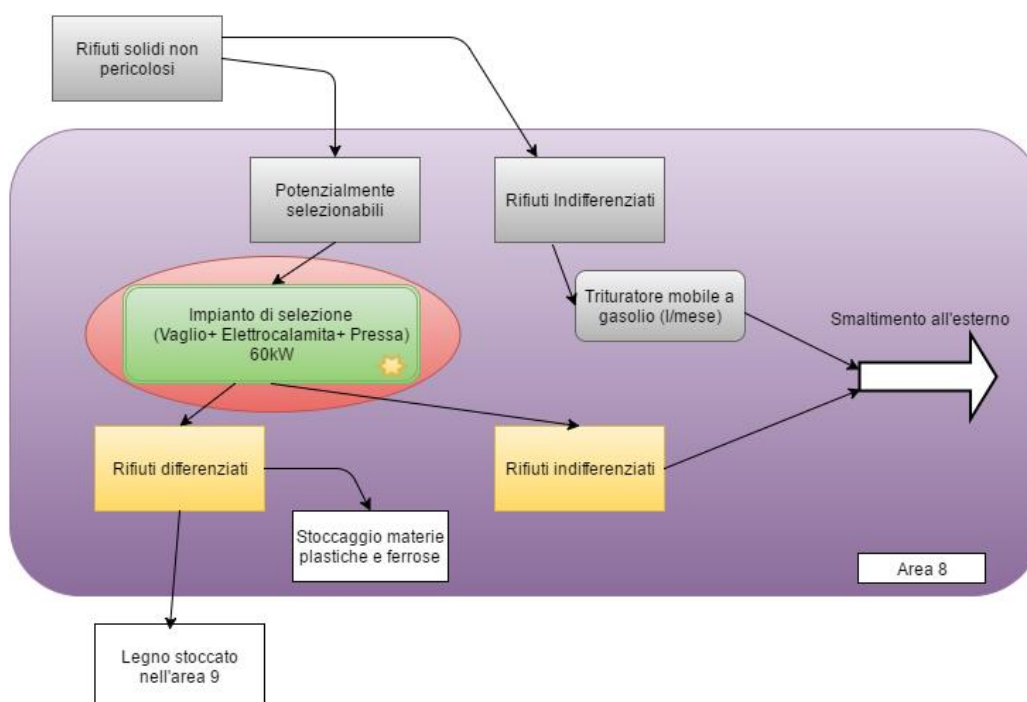


Figura 2: Diagramma di flusso dell'impianto di selezione

2.4 Rifiuti pericolosi

I rifiuti pericolosi possono essere solidi o liquidi, solitamente si ha una programmazione di conferimento settimanale in modo da avere medesima quantità di prodotti in entrata e in uscita dall'impianto su base settimanale per non avere indesiderati accumuli di materiali pericolosi all'interno dell'azienda.

I rifiuti liquidi pericolosi vedono un trattamento minimo, solitamente tramite reagenti, oppure sono sottoposti a miscelazione. Vengono successivamente stoccati all'interno dell'impianto (zona 13) in attesa di avere una quantità sufficiente tale da organizzare un trasporto verso un impianto di smaltimento esterno.

Per quanto riguarda i rifiuti solidi pericolosi per provenienza (ovvero serbatoi e contenitori che avevano al loro interno prodotti liquidi pericolosi), dopo una prima verifica dell'assenza di fondi vengono suddivisi in base alla tipologia di materiale del contenitore in ferrosi e plastici (zona 11). Il materiale ferroso viene inviato direttamente all'esterno, mentre il materiale viene immesso in un trituratore monoalbero idraulico avente una potenza installata di 130kW; la potenza effettiva risulta tuttavia piuttosto oscillante in quanto il trituratore risulta alimentato da uno spintore la cui velocità dipende dal tipo di rifiuto e la sua escursione di movimento è comandata da un sensore di pressione. Questo fa sì che il trituratore sia soggetto a picchi di potenza aventi una periodicità pari a quella dello spintore, visto che nel momento dell'immissione dei rifiuti tramite la pressione dello spintore, questi creano una maggiore coppia resistente all'albero. In questo macchinario, poiché ha in ingresso solamente plastica, risulta possibile e utile definire un parametro di consumo specifico espresso come $\frac{kWh}{kg}$, tuttavia questo indice può presentare delle naturali oscillazioni dovute alla variazione della dimensione dei serbatoi o stagne, e, in secondo luogo dall'efficienza delle lame che presentano una repentina caduta delle prestazioni. La presenza di una griglia garantisce l'uscita del materiale con pezzature di circa 10cm; attraverso un nastro trasportatore, si arriva ad un impianto di lavaggio costituito da un cilindro forato all'interno del quale vi è una coclea che trascina il rifiuto in avanti; durante questo tragitto il rifiuto viene colpito da una soluzione detergente. L'impianto di lavaggio e asciugatura ha una potenza installata di 150 kW, dovuta al fatto che la soluzione di lavaggio viene scaldata tramite resistenze elettriche ad una temperatura di circa 50°C. Questa linea lavora a potenza pressoché costante indipendentemente dalla portata del rifiuto. La plastica viene dunque inviata

tramite nastri ad un ulteriore trattamento: essa entra all'interno di un mulino il quale, con una ulteriore macinazione, crea delle pezzature di circa 1 cm. Infine, tramite un ventilatore aspirante queste scaglie vengono raccolte all'interno di sacchi per essere successivamente inviate al recuperatore. L'insieme dei due macchinari ha una potenza installata di 100 kW.

Per tutta la restante parte dei rifiuti solidi, si effettua una triturazione al fine di minimizzare il volume occupato. Per questo trattamento si utilizza un trituratore trialbero oleodinamico avente una potenza installata di circa 200 kW, alimentato da un ragno a gasolio(zona 12). Il consumo del trituratore è molto variabile in quanto il rifiuto in ingresso è molto eterogeneo, pertanto risulta anche difficile stabilire un consumo specifico. In questo macchinario, inoltre influisce particolarmente l'efficienza delle lame, le quali vengono sostituite circa ogni mese e mezzo. I due reparti di triturazione (zona 11 e 12) sono serviti da impianti di aspirazione e trattamento dell'aria aventi una potenza elettrica rispettivamente di 40 kW e 30 kW.

Le aree 11 e 12, sono provvisti di contatori a monte dei macchinari energivori, esclusi i trattamenti dell'aria. È previsto nel progetto i-waste l'installazione di appositi sensori di misura su ciascun macchinario sopracitato, al fine di monitorare e, se possibile, ottimizzare la gestione energetica del processo.

In Fig.3 è rappresentato il diagramma di flusso della linea di trattamento illustrata.

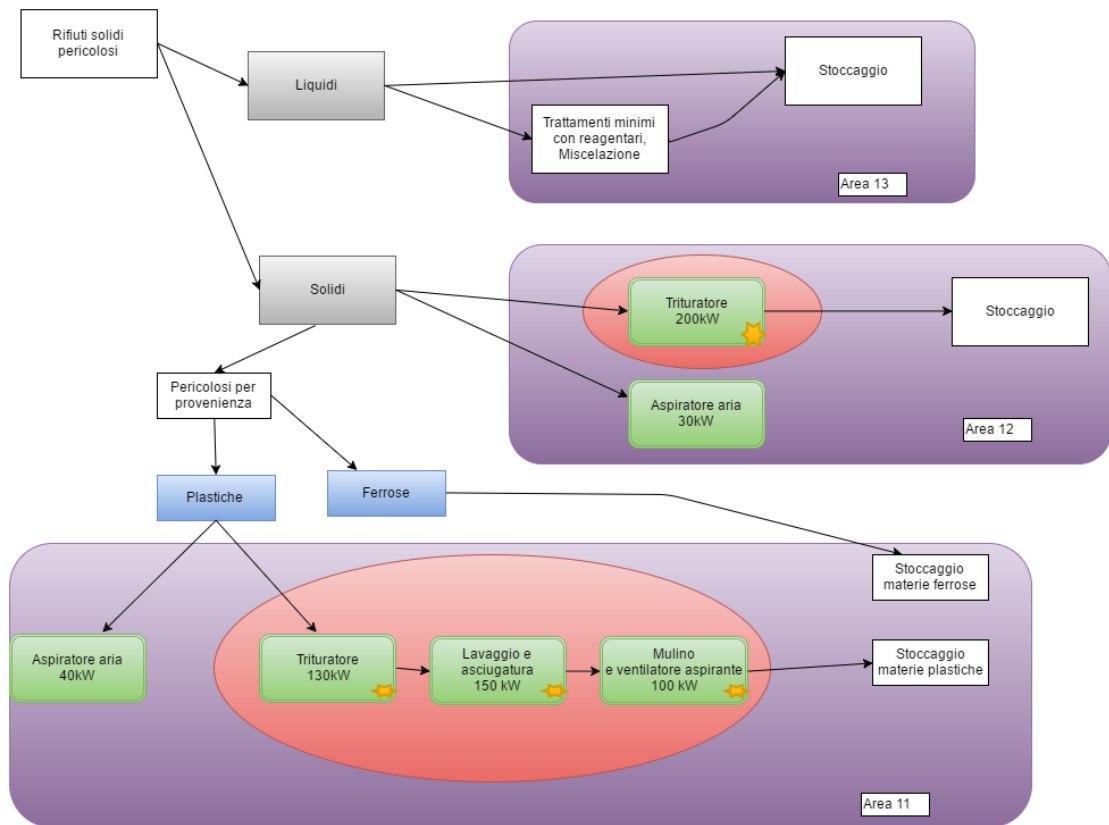


Figura 3:Diagramma di flusso della linea di trattamento rifiuti pericolosi

2.5 Rifiuti liquidi non pericolosi

L'iter iniziale è analogo ai casi precedenti, nel senso che viene fatta una verifica di congruenza tra il prodotto trasportato e le caratteristiche dichiarate nell'omologa. Successivamente il mezzo trasportatore, dopo una fase di pesa, va all'impianto di trattamento chimico fisico (zona 3) oppure verso l'impianto di trattamento biologico (zona 4), in base al tipo di rifiuto.

Il reparto di trattamento chimico fisico è necessario per tutta quella tipologia di rifiuti che debbano esser condizionati. Anche in questa zona il rifiuto può esser scaricato in silos di stoccaggio in attesa di avere una quantità sufficiente tale da permettere di effettuare un ciclo di lavorazione, oppure può andare direttamente all'interno dei reattori.

Una prima linea di trattamento prevede l'utilizzo di reattori all'interno dei quali viene posto il rifiuto liquido; tramite un'operazione automatica regolata da un PLC, vengono immesse opportune dosi di reagenti, quali calce e cloruri. Il processo è composto da una fase iniziale di agitazione e miscelazione avente la durata di circa 30 minuti, seguita da una fase di decantazione della durata di qualche ora. In questo processo il consumo di energia elettrica risulta piuttosto limitato in quanto la

richiesta di potenza si ha solamente nella fase in cui viene attivato l'agitatore. In totale sono installati otto reattori aventi ciascuno una potenza di 10 kW. Al termine di questo trattamento, il fango che si è depositato viene estratto attraverso apposite pompe che lo trasferiscono ad una filtropressa che produce dei pannelli di fango concentrato aventi una percentuale di solido intorno al 45%. La filtropressa non ha ingenti potenze elettriche e lavora in maniera discontinua, pertanto è stata tralasciata nella analisi energetica.

Nel reparto chimico fisico sono presenti anche alcuni silos che permettono il miscelamento di acidi con sostanze alcaline al fine di neutralizzarli: questa tipologia di trattamento risulta piuttosto critica ma non richiede grandi potenze elettriche.

Un'ulteriore linea all'interno di questo reparto è quella utilizzata per il trattamento di soluzioni saline e oleose. Per questo processo viene utilizzata una coppia di evaporatori a triplo stadio: al loro interno viene fatta evaporare la maggior quantità possibile di solvente, in modo che, al termine del processo, venga minimizzata la quantità di soluto. Gli evaporatori hanno una potenza installata di 75kW cadauno, tuttavia la potenza media risulta circa 60kW ciascuno e lavorano in maniera continuativa. Questi sono una coppia identica di evaporatori, tuttavia uno dei due, quello di ultima installazione, è provvisto di un conta calorie e un misuratore di portata delle condense, in quanto è in corso l'*iter* per l'ottenimento dei certificati bianchi.

L'evaporato in uscita viene fatto condensare tramite appositi condensatori: dapprima questi erano raffreddati da batterie ventilanti, tuttavia queste richiedevano un significativo apporto energetico in quanto erano mosse da otto motori, ciascuno avente una potenza di 25 kW; attualmente invece è stata adottata una torre di raffreddamento che richiede un piccolo apporto energetico, a prezzo di un grande quantitativo di acqua: questa risulta in parte acqua prodotta dalle condense del trattamento salino e in parte è acqua ottenuta tramite osmosi. La torre di raffreddamento è dotata di due ventilatori e di varie pompe di ricircolo per una potenza elettrica di 75 kW.

L'impianto presenta inoltre due concentratori, rispettivamente uno per soluzioni oleose e l'altro per soluzioni saline. Il soluto in uscita dall'evaporatore va nel concentratore corrispondente al fine di abbattere la percentuale di acqua residua: nel caso di sostanze saline, viene totalmente estratta la quota residuale di acqua ottenendo grano di sale; per le sostanze oleose è solito fermarsi ad un quantitativo di

acqua dell'85% in quanto oltre questo valore insorgono problemi inerenti alla movimentazione del fluido.

La colonna di distillazione, attualmente in fase di allestimento, sarà utilizzata per il trattamento di acque solventate aventi al più il 25% di solvente in ingresso. All'uscita dalla colonna di distillazione si avrà un liquido con l'80% di solvente che verrà venduto come combustibile, la rimanente parte contenuta nel fondo colonna costituita prevalentemente da acqua e impurità verrà inviata all'evaporatore. Visto il grande calo che ha avuto il costo del petrolio al momento la vendita all'esterno del solvente non risulta remunerativa come quanto preventivato, per questo, visto che il pirogassificatore probabilmente verrà smantellato, è attualmente in fase di studio un possibile utilizzo del solvente, all'interno dell'impianto come combustibile per la costruzione di un nuovo impianto di cogenerazione.

I concentratori e la colonna di distillazione hanno un basso consumo di energia elettrica ma necessitano di ingenti quantità di calore, infatti, è stato ipotizzato che il consumo di metano, quando l'impianto sarà a regime, crescerà enormemente, per questo è stata aggiunta una caldaia a metano gemella a quella preesistente, della potenza di 3MWt.

È presente inoltre un combustore il quale ha in ingresso fino a $4000\text{ m}^3/\text{h}$ di aria con possibile presenza di solventi proveniente dai reattori, dagli evaporatori, dai concentratori, dagli sfiati provenienti dalla colonna di distillazione e infine dagli sfiati degli stoccaggi. La potenza elettrica è quella dei ventilatori aspiranti, circa 30kW, mentre il consumo di metano varia in base alla percentuale di solvente presente nell'aria, tuttavia si prevede che con l'ultimazione della colonna di distillazione, esso sarà in grado di autosostenersi richiedendo un apporto di metano solamente nella fase di transitorio iniziale.

Come sistema di misura termica sui neo impianti di distillazione e concentrazione vi è un conta calorie. Ai fini della definizione di un KPI per l'evaporatore, attualmente viene calcolato un valore medio mensile rapportando rispettivamente i consumi di metano ed elettrico, alla portata di reflui trattati. Analogamente può essere definito un KPI per il distillatore rapportando il consumo termico ai litri di distillato trattati.

Questa linea di trattamento di rifiuti liquidi presenta due contatori collegati ai quadri che alimentano rispettivamente gli evaporatori e le pompe della torre di raffreddamento in un caso, e, nell'altro i reattori e la filtropressa.

Analogamente a prima, anche qua il progetto i-WASTE prevede l'installazione di sistemi di misura sul vecchio evaporatore, integrando quelli già precedentemente esistenti, in modo da monitorare continuamente il processo attraverso degli indici di valutazione.

Il rifiuto liquido entrante nel reparto chimico fisico viene dunque suddiviso in tre categorie:

- acque raccolte al condensatore,
- fanghi,
- solventi.

Tutte le acque uscenti dal condensatore subiranno un trattamento biologico mentre le altre due tipologie residuali verranno stoccate e successivamente trasportate verso impianti di smaltimento esterni.

In Fig.4 è mostrato il diagramma di flusso della linea di trattamento suddetta.

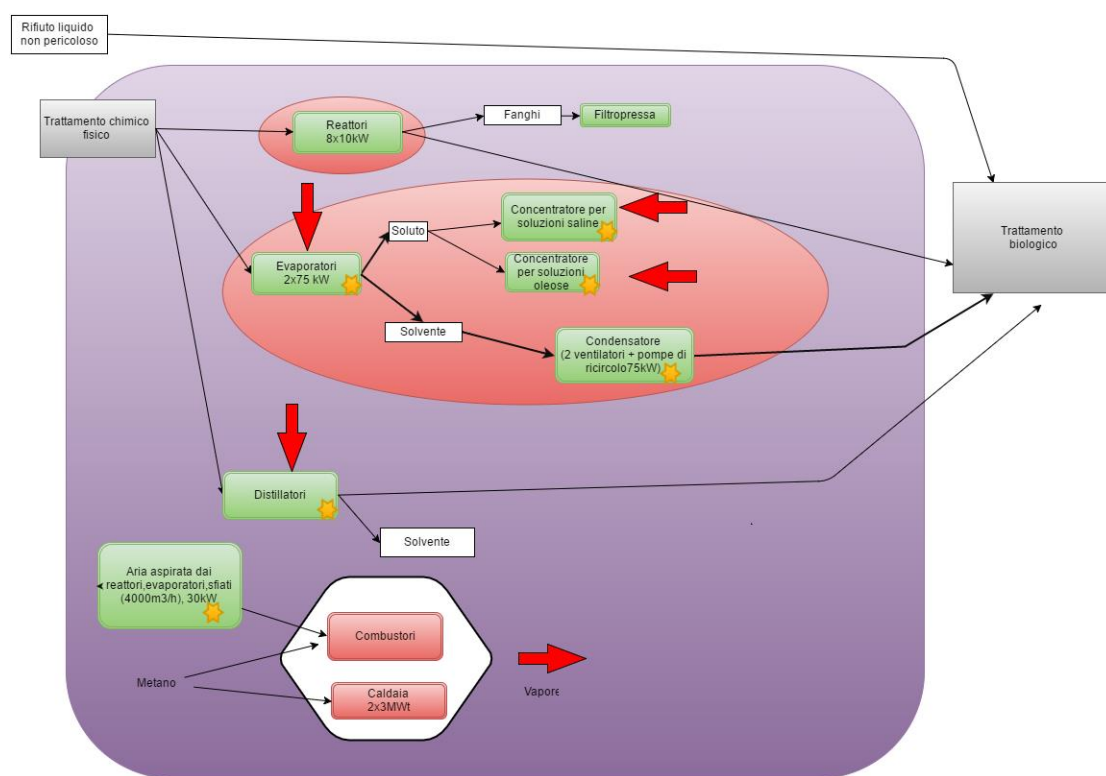


Figura 4:Linea di trattamento chimico-fisico

2.6 Trattamento biologico

Il trattamento biologico è rivolto alle acque provenienti dal reparto chimico-fisico, e ad acque provenienti direttamente dall'ingresso che necessitano solamente questa tipologia di trattamento. Inizialmente tutte le acque confluiscono in una vasca di

omogeneizzazione; da questa le acque proseguono verso le vasche di ossidazione. Le vasche hanno una capacità tale da garantire la permanenza delle acque al loro interno per almeno un giorno. Le vasche di omogeneizzazione sono ossigenate, coperte e aspirate per evitare problemi di maleodoranza.

In seguito l'acqua fluisce nelle due vasche di ossidazione, in cui si ha la necessità di immettere notevoli quantità di ossigeno al fine di alimentare l'attività batterica per la digestione della componente organica ed evitare fenomeni di putrescenza. Queste vasche lavorano con una concentrazione di ossigeno di 2 mg/l; per garantire questo, dapprima erano utilizzate due compressori per ogni vasca, aventi rispettivamente una potenza di 2x130 kW e 2x90kW, rispettivamente per la vasca circolare e quella rettangolare. Nel mese di Maggio 2016 è stata apportata una significativa variazione in quanto è stato installato un impianto di ossidazione ad ossigeno liquido nella vasca circolare, quella più grande. Questa soluzione impiantistica consente una migliore solubilità dell'ossigeno in modo da tamponare in tempi più rapidi le richieste dovute all'abbassamento del COD; inoltre, eliminando l'insufflazione dal basso, si limiterà l'effetto aerosol. Questa modifica, dettata da fattori tecnici, consente di abbattere i consumi elettrici in quanto i due compressori da 130 kW verranno dismessi, a fronte di una nuova potenza elettrica complessiva, necessaria per alimentare le pompe ad ossigeno liquido, di circa 90kW. Nel nuovo sistema di ossigenazione, ci sono tre gruppi di pompaggio che ricircolano il fango attivo della vasca di ossidazione. L'ossigeno liquido viene fatto evaporare in una serpentina posta nella vasca in modo da assorbirne il calore, e, successivamente, viene insufflato sulla mandata delle tre pompe: qui viene miscelato ed infine insufflato sul fondo della vasca. Il quantitativo di ossigeno iniettato è comandato in retroazione da due sonde di ossigeno poste all'interno della vasca, rispettivamente all'ingresso e all'uscita dalla vasca. Nell'eventualità in cui la richiesta di ossigeno sia bassa e solo una delle pompe di ricircolo risulta attiva, viene azionato un mixer all'interno della vasca per migliorare la miscelazione dei fanghi, cosa che prima non era necessaria in quanto l'iniezione di aria compressa aveva già un sufficiente potere miscelante della soluzione.

Le vasche di ossidazione risultano coperte per evitare problemi di maleodoranza, per questo è presente inoltre un sistema di trattamento dell'aria proveniente dagli sfiati, costituito da una serie di ventilatori aspiranti e uno scrubber per una potenza complessiva di 50 kW.

Il rifiuto attraversa dunque nuove vasche in cui è soggetto a trattamenti di denitrificazione e sedimentazione. I fanghi raccolti sul fondo vengono mandati a ispessitori, poi alla filtropressa presente nel reparto chimico-fisico, ed eventualmente ad una centrifuga per eliminare la componente residuale di acqua. In questa fase il componente più energivoro risulta essere la centrifuga, che ha una potenza installata di 50 kW. Questo insieme di operazioni ha il compito di ottenere un fango in uscita con la percentuale di solido più alta possibile, al fine di minimizzare i costi di smaltimento.

Come precedentemente accennato, è presente anche un sistema ad osmosi inversa necessario alla produzione di acqua per la torre di raffreddamento. Il sistema è composto da due pompe a 70 bar, mosse da motori elettrici aventi una potenza elettrica di 60 kW ciascuno; la potenza media risulta prossima ai 100 kW e la richiesta di potenza è determinata dal livello di acqua presente nel serbatoio.

Il refluo prosegue il suo trattamento attraverso un ulteriore stadio biologico, detto MBR(Membrane Bio Reactor), in cui avviene un ulteriore affinamento. Analogamente a prima, una coppia di compressori, aventi una potenza elettrica di 90kW cadauno, movimentano l'aria dal basso e la diffonde tramite un sistema di diffusori.

Tutto il fluido viene dunque fatto passare attraverso un sistema di membrane, che ha il compito di trattenere la rimanente frazione solida presente. Infine il fluido passa attraverso un filtro a resine selettive che trattiene le molecole di boro, introdotto per annullare la presenza del materiale nelle acque reflue, in quanto la presenza di questo elemento era economicamente disincentivata dal depuratore.

Tutte le acque in uscita dall'impianto biologico vengono dunque immesse in una vasca di sollevamento, di proprietà Aquarno, alla quale confluiscono tutti gli scarichi delle industrie limitrofe.

Attualmente, come sistema di misura vi è solamente un contatore nella cabina elettrica che alimenta tutto l'impianto e ha un sistema di lettura manuale visivo. Vi è inoltre un sistema di misura al quadro che alimenta l'impianto di ossidazione il quale registra la potenza elettrica e la portata del refluo. Questo è stato inserito con l'installazione dell'impianto ad ossigeno liquido in quanto l'azienda sta cercando di ottenere dei titoli di efficienza energetica per questa tipologia d'intervento.

Ai fini della determinazione di un indice di efficienza energetica, risulta interessante rapportare il consumo di energia elettrica e di ossigeno liquido al volume di refluo

trattato. Questo indice può tuttavia avere delle naturali oscillazioni, in quanto, cambiando le caratteristiche del refluo può aumentare la richiesta di ossigeno per ogni metro cubo trattato. Il consumo di energia deve essere valutato a livello dell'aggregato di carico formato dalle due coppie di compressori delle vasche di ossidazione e della pompe della prima vasca di ossidazione, in quanto un'analisi relativa solamente a quest'ultimo consumo risulterebbe erronea.

Risultano attualmente in fase di installazione, grazie al progetto i-waste, sistemi di misura sui quadri che alimentano le utenze più energivore precedentemente citate, ovvero, i suoi vari compressori delle vasche di ossidazione, e il sistema di osmotizzazione, in modo da monitorare in tempo reale i consumi.

In Fig.5 è rappresentato in maniera schematica le principali linee di trattamento del refluo e le potenze dei macchinari più energivori.

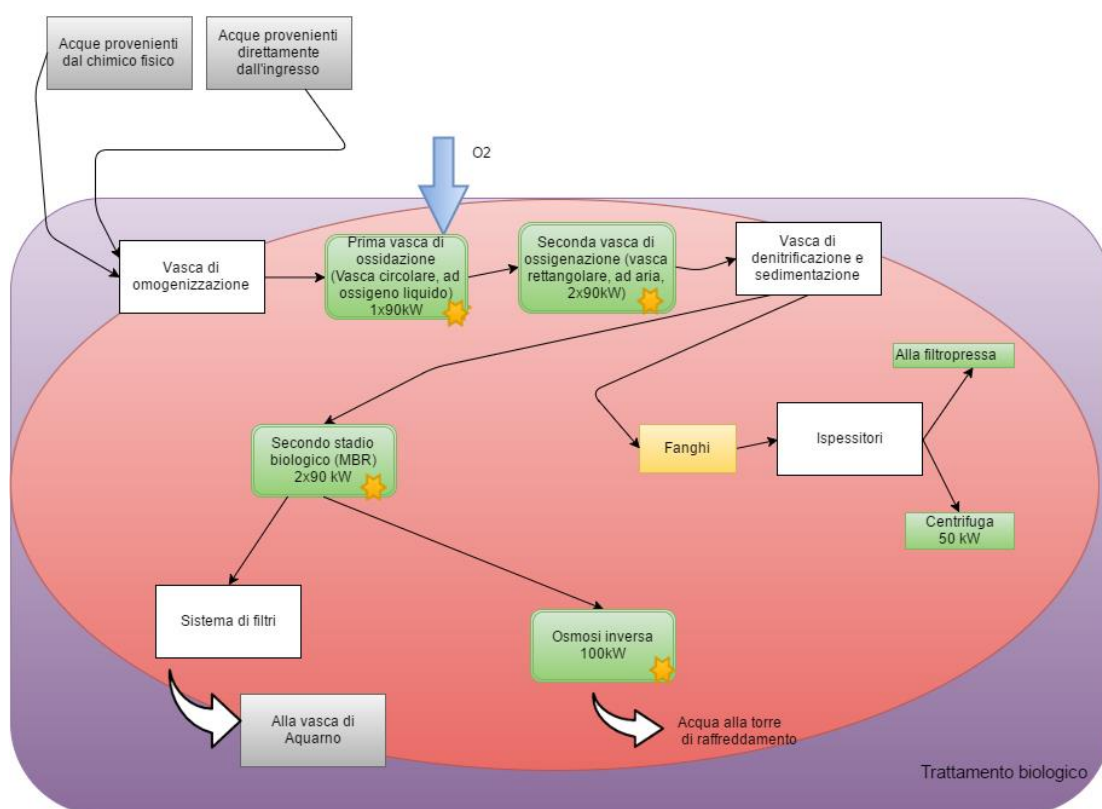


Figura 5: Diagramma di flusso dell'impianto di trattamento biologico

3 Criteri di Tariffazione dell'energia elettrica

3.1 Introduzione

La liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica si è realizzata in Italia per effetto del decreto legislativo n.79 del 16 marzo 1999, che ha recepito la direttiva n. 96/92/CE del 19 dicembre 1996, concernente norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica. Noto come decreto Bersani, il decreto legislativo n. 79/'99 ha stabilito che sono completamente libere le attività di produzione, importazione, esportazione, acquisto e vendita di energia elettrica, mentre le attività di trasmissione e dispacciamento sono riservate allo Stato, che le attribuisce in concessione al Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN, poi TERNA).

Antecedentemente alla liberalizzazione, in Italia era presente un sistema Verticalmente Integrato, ovvero un grande operatore pubblico, ENEL, che in maniera pressoché monopolistica sul territorio nazionale si occupava di tutta la filiera dell'energia elettrica. In questa ottica il soggetto che riceveva l'energia era considerato un utente poiché era beneficiario di un servizio, pertanto anche la bolletta elettrica rifletteva i costi sostenuti dall'azienda.

Il passaggio ad un sistema liberalizzato, pur mantenendo obblighi di pubblico servizio, ha fatto sì che il soggetto finale che riceve il bene energia diventasse un cliente, pertanto la quota parte della bolletta che riguarda la fornitura è lasciata alla libera negoziazione. La rimanente parte della bolletta, come in seguito analizzato, vede la remunerazione dei servizi di rete, degli oneri generali afferenti al sistema elettrico e delle imposte.

Inizialmente il Decreto Bersani identificava i clienti in due categorie: i clienti idonei, ovvero coloro che avevano le caratteristiche per partecipare al mercato, ed i clienti vincolati, ovvero coloro che non avendo le caratteristiche per accedere al libero mercato erano obbligati a stipulare contratti esclusivamente con il distributore che esercitava il servizio nell'area territoriale in cui era localizzata l'utenza. Dal 1° luglio 2007 tutti i clienti sono "idonei", ovvero autorizzati a contrattare il prezzo dell'energia sul mercato libero.

Esistono quindi tre categorie di clienti dell'energia elettrica:

- clienti operanti sul mercato libero;
- clienti senza un contratto di acquisto sul mercato libero, suddivisi a loro volta in:

- clienti sotto regime di maggior tutela: a questa tipologia di clienti, composta essenzialmente da utenze domestiche e piccole imprese in BT, la legislazione riconosce una tutela particolare; in tal caso una società interamente posseduta dal GSE, detta Acquirente Unico, va sul mercato libero ed acquista energia per conto di questo aggregato di soggetti. I costi sostenuti dall'Acquirente Unico, per il procacciamento dell'energia e i relativi oneri di gestione, saranno poi ribaltati in bolletta su questa tipologia contrattuale di clienti.
- clienti sotto regime di salvaguardia: sono una categoria contrattuale di clienti che non hanno le caratteristiche per rientrare sotto regime di maggior tutela, ma non hanno stipulato un contratto sul libero mercato; pertanto il GSE ha predisposto un meccanismo per salvaguardare questa categoria.

E' attualmente in discussione la riforma dei regimi di tutela, che vedrà probabilmente la nascita di un unico e oneroso sistema di fornitura di ultima istanza in alternativa al mercato libero.

3.2 La struttura tariffaria

Nell'immagine seguente è rappresentata schematicamente la struttura tariffaria della bolletta elettrica per le tre diverse tipologie contrattuali di clienti. È possibile notare come la parte inferiore sia identica per le tre categorie, pertanto in prima istanza verranno descritte queste aliquote comuni.

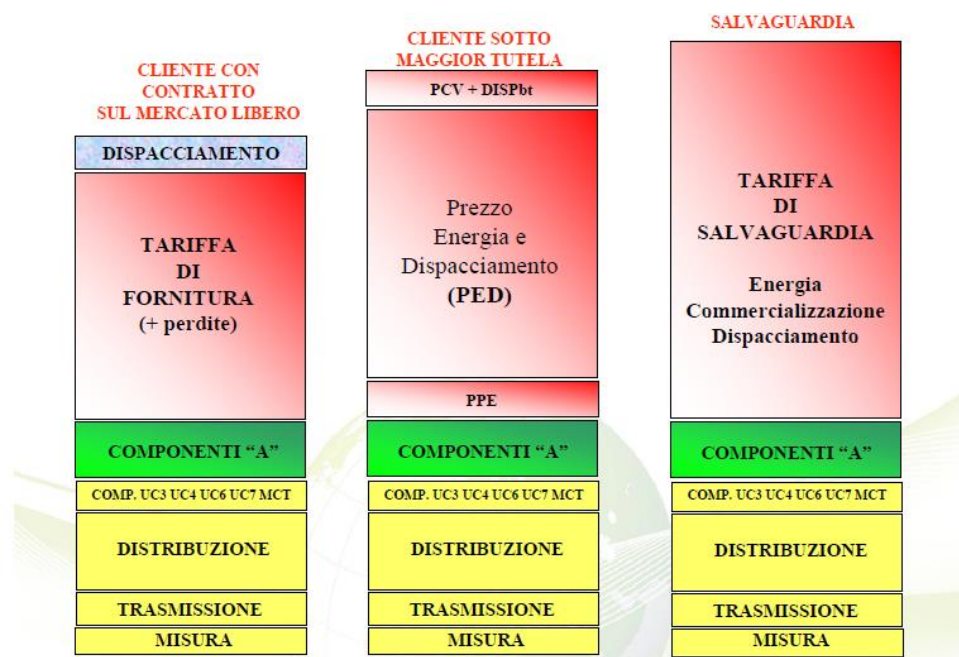


Figura 6: La struttura tariffaria per le tre tipologie di clienti

3.2.1 Tariffa di Misura

La tariffa di Misura, stabilita dall' AEEGSI, consente la remunerazione del servizio di installazione e misurazione dei misuratori, nonché la raccolta, la validazione e la registrazione delle misure. Ad oggi, i responsabili della misura sono i Distributori, tuttavia l'aliquota misura è stata scissa da quella di distribuzione in quanto questo servizio potrebbe esser messo a mercato, come già accade in altri Paesi.

La tariffa prevede una quota fissa che varia in base al livello di tensione:

| Componenti MIS, di cui all'articolo 12 | | |
|--|--|-----------------------|
| Tipologie di contratto di cui comma 2.2 del TIT | Anno 2016 | |
| | MIS ₁ | MIS ₃ |
| | centesimi di euro/punto di prelievo per anno | centesimi di euro/kWh |
| Utenze in bassa tensione di illuminazione pubblica | - | 0,052 |
| Utenze in bassa tensione per ricarica veicoli elettrici | - | 0,168 |
| Altre utenze in bassa tensione | 1.924,59 | - |
| Utenze in media tensione di illuminazione pubblica | - | 0,053 |
| Altre utenze in media tensione | 23.328,73 | - |
| Utenze in alta tensione | 125.620,28 | - |
| Utenze in altissima tensione, con tensione inferiore a 380 kV | 125.620,28 | - |
| Utenze in altissima tensione, con tensione uguale o superiore a 380 kV | 125.620,28 | - |

Figura 7: Tariffa di misura stabilita nel TIT

Il corrispettivo viene dilazionato in quote mensili pari ad 1/12 di quella annuale.

3.2.2 Tariffa di Trasmissione

La tariffa di Trasmissione va a remunerare il servizio di trasmissione svolto da Terna, i cui gettiti vanno a formare un fondo per l'adeguamento dell'infrastruttura e la copertura dei costi operativi. La quota è variabile con il livello di tensione, in particolare decresce all'aumentare del livello di tensione in quanto diminuisce l'utilizzo della rete, ed è proporzionale all'energia acquistata; solo in alta tensione è presente una tariffa binomia contenente anche un'aliquota proporzionale alla potenza impegnata.

| Tipologie contrattuali | centesimi di euro/kW (TRAS _P) | centesimi di euro/kWh (TRAS _E) |
|---|---|--|
| Utenze in bassa tensione di illuminazione pubblica | - | 0,680 |
| Utenze in bassa tensione per alimentazione infrastrutture di ricarica pubblica di veicoli elettrici | - | 0,680 |
| Altre utenze in bassa tensione | - | 0,680 |
| Utenze in media tensione di illuminazione pubblica | - | 0,635 |
| Altre utenze in media tensione | - | 0,635 |
| Utenze in alta tensione | 1.835,13 | 0,062 |
| Utenze in altissima tensione, con tensione inferiore a 380 kV | 1.835,13 | 0,062 |
| Utenze in altissima tensione, con tensione uguale o superiore a 380 kV | 1.835,13 | 0,062 |

Figura 8: Tariffa di Trasmissione

3.2.3 Tariffa di Distribuzione

La tariffa di Distribuzione va a remunerare i costi operativi e gli investimenti relativi alle reti di bassa e media tensione. La tariffa è stabilita dall'AEEGSI; è una tariffa trinomica, costituita da:

- una quota fissa;
- una quota proporzionale alla potenza impegnata;
- una quota proporzionale all'energia acquistata.

In questo contesto è fondamentale distinguere la potenza in:

- Potenza disponibile: è la massima potenza prelevabile in un punto di prelievo senza che il cliente finale sia disalimentato. Essa è pari alla potenza per la quale è stato corrisposto una tantum il contributo di allacciamento (da adeguarsi in caso di più superi mensili nello stesso anno solare).
- Potenza impegnata propriamente detta: è il massimo valore mensile delle potenze medie quartodinarie.

Come si evince dalla seguente tabella, i coefficienti dipendono dalla potenza disponibile e dalla potenza impegnata.

Tabella 3: Componenti delle tariffe obbligatorie per il servizio di distribuzione, di cui all'articolo 9

| Tipologie di contratto di cui al comma 2.2 | | Anno 2016 | | | CODICE TARIFFA |
|--|--|--|-------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | Quota fissa | Quota potenza | Quota energia | |
| | | centesimi di euro/punto di prelievo/anno | centesimi di euro/kW per anno | centesimi di euro/kWh | |
| lettera b) | Utenze in bassa tensione di illuminazione pubblica | - | - | 1,283 | BTIP |
| lettera c) | Utenze in bassa tensione per alimentazione delle infrastrutture di ricarica pubblica per veicoli elettrici | - | - | 5,643 | BTVE |
| lettera d) | Altre utenze in bassa tensione con potenza disponibile fino a 16,5 kW | | | | |
| | - per potenze impegnate inferiori o uguali a 1.5 kW | 473,20 | 3.017,11 | 0,062 | BTA1 |
| | - per potenze impegnate superiori a 1.5 kW e inferiori o uguali a 3 kW | 473,20 | 2.857,48 | 0,062 | BTA2 |
| | - per potenze impegnate superiori a 3 kW e inferiori o uguali a 6 kW | 473,20 | 3.176,75 | 0,062 | BTA3 |
| | - per potenze impegnate superiori a 6 kW e inferiori o uguali a 10 kW | 520,52 | 3.176,75 | 0,062 | BTA4 |
| | - per potenze impegnate superiori a 10 kW | 520,52 | 3.176,75 | 0,062 | BTA5 |
| | Altre utenze in bassa tensione con potenza disponibile superiore a 16,5 kW | 473,20 | 3.017,11 | 0,060 | BTA6 |
| lettera e) | Utenze in media tensione di illuminazione pubblica | - | - | 0,676 | MTIP |
| lettera f) | Altre utenze in media tensione con potenza disponibile fino a 100 kW | 44.886,62 | 3.411,88 | 0,059 | MTA1 |
| | Altre utenze in media tensione con potenza disponibile superiore a 100 kW e inferiore o uguale a 500 kW | 40.397,95 | 3.063,73 | 0,053 | MTA2 |
| | Altre utenze in media tensione con potenza disponibile superiore a 500 kW | 39.031,84 | 2.687,73 | 0,046 | MTA3 |
| lettera g) | Utenze in alta tensione | 1.974.089,44 | - | 0,020 | ALTA |
| lettera h) | Utenze in altissima tensione, con tensione inferiore a 380 kV | 1.974.089,44 | - | - | AAT1 |
| lettera i) | Utenze in altissima tensione, con tensione uguale o superiore a 380 kV | 1.974.089,44 | - | - | AAT2 |

Figura 9: Componenti della tariffa di Distribuzione

Nella tariffa di Distribuzione rientrano anche le eventuali penali per eccesso di prelievo di Energia Reattiva, contabilizzate secondo la seguente tabella. Da notare che in Media e Bassa Tensione dall'anno 2016 è stata aumentata la soglia discriminante della penale; attualmente già con un $\cos(\phi)=0,95$, ovvero con un rapporto tra potenza Reattiva e Potenza Attiva del 33%, si è soggetti ad una sanzione. In questo caso l'importo risulta proporzionale all'Energia Reattiva eccedente la soglia, secondo coefficienti che variano in base al livello di tensione, alle fasce orarie, e al volume dell'eccedenza di Energia Reattiva rispetto a quella Attiva.

| | Fasce orarie | Anno 2016 | |
|---|--------------|--|---|
| | | Energia reattiva compresa tra il 33% ed il 75% dell'energia attiva | Energia reattiva eccedente il 75% dell'energia attiva |
| | | centesimi di euro/kVAh | centesimi di euro/kVAh |
| Punti di prelievo di clienti finali in media tensione | F1 | 0,247 | 0,319 |
| | F2 | 0,247 | 0,319 |
| | F3 | 0,000 | 0,000 |
| Punti di prelievo di clienti finali in bassa tensione | F1 | 0,727 | 0,937 |
| | F2 | 0,727 | 0,937 |
| | F3 | 0,000 | 0,000 |

| | Fasce orarie | Energia reattiva compresa tra il 50% ed il 75% dell'energia attiva | Energia reattiva eccedente il 75% dell'energia attiva |
|--|--------------|--|---|
| | | centesimi di euro/kVAh | centesimi di euro/kVAh |
| | | | |
| Punti di prelievo di clienti finali in alta e altissima tensione | F1 | 0,860 | 1,100 |
| | F2 | 0,860 | 1,100 |
| | F3 | 0,000 | 0,000 |

Figura 10: Soglie delle penali di eccesso prelievo di potenza reattiva

3.2.4 Componenti UC

Le componenti UC (Ulteriori Costi) e le MCT (Misure Compensazione Territoriale) sono oneri di sistema, il cui gettito alimenta i seguenti fondi:

- UC3 : copertura degli squilibri del sistema di perequazione dei costi di distribuzione;
- UC4: copertura integrazioni tariffarie Cap.VII comma 3.a del CIP 34/74 ;
- UC6 : copertura dei costi riconosciuti derivanti dai recuperi di qualità del servizio;
- UC7: copertura oneri dei distributori, derivanti da interventi per la promozione energetica presso gli usi finali;
- MCT: copertura delle Misure di Compensazione, ovvero un fondo creato e alimentato continuamente, che verrà riversato verso i Comuni dei siti che accetteranno di ospitare centrali nucleari e impianti del ciclo del combustibile nucleare;

Le Componenti UC sono aggiornate trimestralmente dall'AEEGSI, sono composte da tariffe binomie, con una quota fissa ed una proporzionale all'energia, che varia in base alla tipologia del punto di prelievo secondo opportuni coefficienti. (Vedi Appendice)

3.2.5 Componenti A

Le Componenti tariffarie "A", ovvero Addizionali, finanziano appositi conti istituiti per la copertura di oneri sostenuti nell'interesse generale del sistema elettrico:

- A2 = costi di smantellamento delle centrali nucleari
- A3 = incentivazione delle fonti rinnovabili (conto energia, CIP6, ...).
- A4 = finanziamento di regimi tariffari speciali (FF.SS., Terni)
- A5 = finanziamento delle attività di ricerca e sviluppo
- AS = copertura degli oneri utenti domestici economicamente disagiati e/o in gravi condizioni di salute (Dal IV trim.08, v.Del.117/08 e s.m.i)
- AE = copertura sconti su componenti A per clienti energivori. Non pagata dagli energivori.

Anche per questa componente tariffaria vi è una quota fissa per punto di prelievo, e una quota variabile, secondo opportuni coefficienti, proporzionale all'energia.

Queste componenti dal punto di vista economico sono molto ingenti; in particolare la componente A3 pesa circa il 45% dell'intera bolletta elettrica di un cliente industriale.

La Del.578/2013 AEEG ha comportato un netto stravolgimento nelle politiche economiche degli autoproduttori: prima, questi soggetti pagavano le componenti A e UC solamente sull'energia prelevata dalla rete. Tuttavia, dal 1° gennaio 2014, il pagamento degli oneri di sistema (A, UC, MCT) avviene sull'intero consumo, ovvero anche sull'energia autoprodotta e autoconsumata. Dunque, vista l'ingente somma delle componenti A, questo ha destabilizzato totalmente le politiche economiche degli autoproduttori. Questa delibera contempla importanti esenzioni per i seguenti sistemi di produzione e consumo, che quindi continuano a pagare le componenti A solo su quanto prelevato dalla rete:

- Reti interne d'utenza (RIU): Reti private autorizzate al luglio 2009, senza obbligo di connessione di terzi, con unico gestore, connessione ad almeno 120kV con la rete pubblica.
- Sistemi Efficienti d'Utenza (SEU): sistemi di produzione solo da Fonti Rinnovabili e Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR), con un unico soggetto produttore e, eventualmente distinto, un unico soggetto per il consumo.
- Sistemi Esistenti Equivalenti ai SEU (SESEU), composti da tre sottocategorie A,B,C, le quali salvano una buona parte della rimanente autoproduzione pregressa, purché:
- iter autorizzativo avviato prima del 4 luglio 2008;

- autorizzazioni ottenute entro 1° gennaio 2014.

Oltre alle tempistiche dell'iter autorizzativo i SEESEU, devono sottostare ad almeno uno dei seguenti requisiti:

- SEESEU-A: Univocità del soggetto giuridico che gestisce tutte le unità di produzione e consumo;
- SEESEU-B: FER o CAR inferiori a 20 MW, e, dal 2016 i ripescati del SEESEU-C;
- SEESEU-C: Valida solo fino al 31/12/2015, costituita dai sistemi semplici di produzione e consumo (SSPC) già in esercizio al 1° Gennaio 2014.

Dal 1 gennaio 2015 anche RIU,SEU e SEESEU devono pagare le componenti A sul 5% dell'energia autoconsumata.

Vista la notevole crescita dell'aliquota delle componenti A, il Legislatore ha ritenuto che si dovesse inserire un meccanismo di sconto di questi oneri per gli utenti più energivori, riversando questo mancato introito sulle bollette degli altri clienti sotto forma di una componente addizionale, detta componente AE.

I clienti sono definiti energivori sulla base dell'indice di intensità energetica aziendale, definito come il rapporto della spesa elettrica annua presunta aziendale a costi standard, diviso il fatturato. Il valore dell'indice, suddiviso in più fasce determina l'ammontare della percentuale di sconto come visibile in tabella.

| | Classi intensità energetica | | | |
|--------------------|-----------------------------|-------|--------|------|
| | 2-6% | 6-10% | 10-15% | >15% |
| percentuale sconto | 15% | 30% | 45% | 60% |

Figura 11: Percentuali di sconto sulle componenti AE in funzione delle classi d'intensità energetica

Oltre all'appartenenza dell'indice ad una delle classi di intensità energetica (>2%), gli altri requisiti sono l'attività classificata come "manifatturiera" in base al codice ATECO, un consumo energetico annuo superiore a 2.4GWh e infine l'appartenenza all'albo delle Imprese Energivore. Gli sconti sono pagati dai soggetti non energivori, mediante la componente AE.

Attualmente, a causa di una Procedura di infrazione della UE, la quale ha considerato questo meccanismo di sconto come un aiuto di Stato alle aziende, le componenti AE

sono state poste a zero ed è stato bloccato il pagamento degli sconti inerenti il secondo semestre del 2014.

3.3 Clienti sul libero Mercato:

3.3.1 Tariffa di Dispacciamento

Nel caso in cui il cliente abbia un contratto sul libero mercato è tenuto a pagare la tariffa di dispacciamento. Questa è dovuta essenzialmente alle caratteristiche insite nel sistema elettrico: poiché non è possibile accumulare in maniera significativa l'energia elettrica, è necessario che in ogni istante vi sia equilibrio fra produzione e carico. Il bilanciamento è fatto in parte in maniera previsionale, ovvero già il Mercato del Giorno Prima, per costruzione, determina un punto di lavoro stabile, determinando diritti e doveri per i produttori e per i carichi. Tuttavia, essendo il nostro sistema ad inseguimento della domanda, ovvero del carico elettrico, c'è l'esigenza di modulare continuamente la produzione, al fine di mantenere l'equilibrio. Per questo, viene creato un nuovo mercato, detto Mercato dei Servizi di Dispacciamento, un mercato ex-ante, che serve a risolvere le eventuali congestioni di rete in maniera previsionale, e ad allocare riserva secondaria e terziaria, in modo da esercire il sistema in tempo reale in maniera sicura. Questo mercato determina inoltre delle liste di merito economico per la riserva terziaria, a cui Terna attinge secondo le necessità del momento e secondo una procedura trasparente.

Successivamente, a consuntivo, le parti che non hanno rispettato i piani di immissione e consumo pagano lo sbilanciamento a Terna a copertura di quanto corrisposto alle risorse di bilanciamento effettivamente utilizzate. Esistono per questo degli oneri, detti oneri di Dispacciamento che vengono pagati preventivamente dall'utente di Dispacciamento verso Terna, ribaltando poi il costo sul cliente finale. Questa componente comprende la copertura di vari costi, tuttavia in termini economici, quella più influente risulta l'approvvigionamento risorse nei Mercati Servizi di Dispacciamento, solitamente varia da 2€/MWh a 9€/MWh, ed è tanto più grande quanto è grande lo sbilanciamento tra il punto di lavoro previsionale e quello reale. Per questo, i grandi utenti a contratto bilaterale, possono esser coinvolti volontariamente dal loro fornitore nella previsione del proprio fabbisogno orario tramite un corrispettivo bonus o penalità.

3.3.2 Tariffa di fornitura

Il cliente sul libero mercato ha due possibili soluzioni per l'approvvigionamento energetico: o stipula contratti bilaterali con produttori/rivenditori, oppure acquista direttamente sul MGP. Solitamente, i clienti preferiscono acquistare, almeno in parte, tramite contrattazione bilaterale in quanto la borsa rappresenta un rischio maggiore, ed è quindi evitato per scelte politiche aziendali. Tuttavia anche il contratto bilaterale, può presentare varie tipologie di prezzo:

- Offerte a prezzi espliciti (fissi o variabili);
- Offerte a sconto sulla tariffa di maggior tutela;
- Offerte a sconto sulla tariffa di salvaguardia;
- Offerte con spread sui prezzi medi di borsa.

Le tariffe a prezzi espliciti son formati da una tariffa €/kWh, potenzialmente variabile secondo le fasce orarie, tipicamente quelle definite dall'AEEGSI come illustrato in figura.

| FASCE ORARIE (Decorrenza 01/01/2009) - Del. AEEG 156/07 (TIV) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | fasce | | F1 | F2 | F3 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|----------|----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | peak | mid level | off peak | |
| Ora | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 | |
| Lunedì | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 | |
| Martedì | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 | |
| Mercoledì | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 | |
| Giovedì | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 | |
| Venerdì | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F1 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 | |
| Sabato | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F2 | F3 | |
| Domenica * | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | F3 | |

* Domenica e Festivi / 1 gennaio - 6 gennaio - Lunedì di Pasqua - 26 Aprile - 1 Maggio - 2 Giugno - 15 Agosto - 1 Novembre - 8 Dicembre - 26 Dicembre

* Domenica e Festivi (1 gennaio - 6 gennaio - Lunedì di Pasqua - 25 Aprile - 1 Maggio - 2 Giugno - 15 Agosto - 1 Novembre - 8 Dicembre - 26 Dicembre)

Figura 12: Tabella delle fasce orarie stabilite dall'AEEG

3.4 Imposte erariali

Le imposte erariali, come illustrato nell'immagine 13, hanno una tariffa monomia proporzionale all'energia il cui prezzo varia in base alla tipologia di utenza e dalla quota di energia consumata mensilmente. Per gli impianti più energivori, è di notevole interesse il discriminante dei 1200 MWh, in quanto cambia completamente la tipologia di tariffa, si passa da una tariffa binomia ad una tariffa fissa.

| ACCISA - Imposta erariale | c€/kWh |
|---|------------------------|
| USI DOMESTICI | |
| Forniture per abitazione di residenza anagrafica ("prima casa") | |
| • Forniture fino a 3 kW* | |
| - Consumi fino a 150 kWh/mese | 0 |
| - Consumi oltre 150 kWh/mese | 2,27 |
| • Forniture oltre 3 kW | 2,27 |
| Forniture per non residenti ("seconda casa") | 2,27 |
| ILLUMINAZIONE PUBBLICA | |
| • Forniture con qualsiasi livello di consumo | 1,25 |
| ALTRI USI | |
| Forniture fino a 1.200.000 kWh/mese | |
| - Primi 200.000 kWh consumati nel mese | 1,25 |
| - Consumi oltre 200.000 kWh nel mese | 0,75 |
| Forniture oltre 1.200.000 kWh/mese | |
| - Primi 200.000 kWh consumati nel mese | 1,25 |
| - Consumi oltre 200.000 kWh nel mese | 4820 € in misura fissa |
| IVA | Aliquota |
| USI DOMESTICI e assimilati - Servizi condominiali (edifici residenziali) | 10% |
| ILLUMINAZIONE PUBBLICA | 22% |
| ALTRI USI | |
| - Per uso di imprese estrattive, agricole e manifatturiere comprese le poligrafie, editoriali e simili, funzionamento degli impianti irrigui e di sollevamento e scolo delle acque da parte di Consorzi di bonifica e Consorzi di irrigazione | 10% |
| - Altre attività | 22% |

Figura 13: Imposta erariale per le diverse tipologie di utenze

3.5 Clienti sotto maggior tutela

I clienti che hanno diritto al servizio di maggior tutela, e che quindi ricadono automaticamente in questa categoria se sprovvisti di contratto sul mercato libero, sono:

- I clienti finali domestici;
- Le piccole imprese in BT: clienti finali non domestici, con tutti i punti di prelievo in BT, con meno di 50 dipendenti e fatturato <10M€/anno;
- Clienti finali titolari di applicazioni relative a servizi generali utilizzati dai clienti di cui ai precedenti punti, limitatamente ai punti di prelievo dei medesimi servizi generali.

L'Acquirente Unico è una società detenuta interamente dal GSE, fondata con il compito di tutelare una categoria di consumatori, ovvero quella dei clienti sotto maggior tutela. L'AU porta quindi sul mercato un ingente aggregato di soggetti, per conto dei quali acquista energia, alle migliori condizioni di mercato, in Italia e all'estero, minimizzando i costi ed il rischio prezzo per la fornitura ai clienti finali variegando il suo portafoglio acquisti.

L'AU ha l'obbligo dell'equilibrio di bilancio tra i costi di approvvigionamento sostenuti e i ricavi provenienti dalla cessione dell'energia agli Esercenti la maggior tutela. L'energia elettrica acquistata da AU viene ceduta agli Esercenti secondo le

direttive dell'Autorità, ad un prezzo che è definito mensilmente da AU stesso, in modo da pareggiare esattamente i costi di approvvigionamento sostenuti nel medesimo mese di riferimento.

Gli esercenti della maggior tutela, ovvero i distributori (<100.000 clienti), o le relative società di vendita (>100.000 clienti), applicano all'energia prelevata dal cliente i seguenti corrispettivi:

- PED, Prezzo Energia e Dispacciamento, remunera il prezzo medio trimestrale che l'AU ha sostenuto per l'acquisto dell'energia, e come utente di dispacciamento,
- PPE, Perequazione oneri di approvvigionamento e dispacciamento;
- PCV e $DISP_{BT}$: Oneri che remunerano l'esercente del servizio di distribuzione per il servizio offerto.

3.6 Tariffa di Salvaguardia

I clienti sotto Salvaguardia sono quella tipologia di clienti che non hanno le caratteristiche per rientrare nel servizio sotto maggior tutela, ma allo stesso tempo non hanno stipulato nessun contratto di fornitura dell'energia elettrica. Questa categoria di clienti viene dunque aggregata a livello macroregionale, e l'AU bandisce degli appalti di validità biennale o triennale, attraverso cui seleziona un esercente del servizio di maggior tutela in base al minor spread rispetto al prezzo di borsa.

Il prezzo pagato è notevolmente superiore a quello che si otterrebbe nel libero mercato, in modo da incentivare questa tipologia di clienti a passare al libero mercato.

4 Analisi della bolletta Elettrica dell'azienda Waste s.p.a

4.1 Introduzione

Nel seguente capitolo verrà analizzata la bolletta elettrica inerente al mese di Gennaio 2016 dell'azienda Waste recycling spa. L'Azienda presenta due contratti di fornitura elettrica con due diverse società: la Energetic Source spa e la Multiutility spa.

4.2 Bolletta Energetic Source

Il contratto con Energetic Source ha il punto di consegna in via Confinia, ovvero al trasformatore adiacente all'impianto del depuratore biologico, come visibile nella cartina presente in appendice. Questa area, come precedentemente visto, è caratterizzata dalla presenza di pompe e compressori che lavorano ininterrottamente nella movimentazione e l'ossigenazione dei fanghi, pertanto risulta caratterizzata da consumi elettrici mensili di circa 450 MWh. Il contratto a prezzi fissi e espliciti, prevede una tariffa Peak/OffPeak, il cui prezzo è di 53,5€/MWh per la fascia oraria Peak, e 46,57€/MWh per quella Off-Peak. Questa tariffazione, visto il calo dei prezzi dell'energia, è stata valutata eccessiva, e pertanto è stata suggerita una ricontrattazione della fornitura.

Da notare inoltre che, la potenza disponibile risulta di 425kW, tuttavia la potenza impegnata nel mese di Gennaio 2016, risulta nettamente superiore, pari a 865kW, per questo, il distributore ha diritto a chiedere l'adeguamento al rialzo della potenza disponibile, ovvero un pagamento una tantum corrispondente a quanto pagato in €/kW in sede di allacciamento, per il delta potenza disponibile di aumento.

Dall'analisi dello storico si evince che la potenza impegnata si è sempre attestata oltre 800 kW, pertanto è lecito aspettarsi l'adeguamento da parte di Enel Distribuzione, con un delta potenza di oltre 400 kW, per un fattore moltiplicativo di circa 56€/kW.

Il costo dell'approvvigionamento al M.S.D questo mese è stato di 5,31€/MWh, un valore nel range medio; tuttavia visto il presunto andamento del carico piuttosto piatto, potrebbe essere interessante contrattare con il proprio fornitore, bonus o penalità nella previsione dell'andamento del proprio carico orario per ottenere benefici economici.

In questa bolletta non ci sono state penali per eccesso di Energia Reattiva; tuttavia, considerato che con la nuova delibera il limite oltre il quale si incorre in una sanzione

è stato posto a $\cos(\phi)=0,95$, dallo storico si evince che questo vincolo sarebbe stato più volte superato nei mesi precedenti e per questo è stata suggerita una nuova taratura dei condensatori di rifasamento. Va ricordato inoltre, che nel mese di Maggio 2016 sono state apportate delle modifiche all'impianto, in particolare sono stati sostituiti due compressori da 90kW con un nuovo impianto ad ossigeno liquido, pertanto si prevede una diminuzione dei consumi.

4.3 Bolletta elettrica Multiutility

Il contratto con questa società presenta due punti di consegna, rispettivamente uno in via vicinale Malpasso ed uno in via Usciana, entrambi nel Comune di Castelfranco Di Sotto (PI). Di particolare interesse risulta essere quello in via Malpasso, che va ad alimentare tutta l'ala ovest dell'impianto, sede dei trattamenti di rifiuti solidi e dei trattamenti chimico-fisici.

La potenza disponibile risulta di 821 kW, mentre quella impegnata è stata di 735 kW. In questo impianto, rispetto al precedente, vista la tipologia dei carichi, e dell'energia mensilmente acquistata si può dedurre che l'andamento della potenza nel tempo risulta fortemente oscillante, infatti si ha una potenza media di 295 kW. Questo profilo del carico potrebbe essere in parte appiattito attuando una logica di sfasamento temporale delle utenze più energivore; tuttavia anche questa operazione risulta alquanto complessa visto l'ingente carico di alcune catene di lavorazione (tritatore 350kW) e non comporterebbe sufficienti benefici dal punto di vista economico.

La tariffazione dell'energia è a prezzi espliciti a fasce orarie con i seguenti prezzi:

F1: 0,050000 €/kWh;

F2: 0,049700 €/kWh;

F3: 0,039600 €/kWh;

E' possibile notare come in fascia F3 l'energia risulti molto più economica, con un risparmio di circa 10 €/MWh; pertanto, se possibile, risulterebbe vantaggioso spostare i processi più energivori in suddetta fascia oraria.

Da notare invece che vi è il pagamento di una penale per l'eccesso di prelievo di Energia Reattiva, con un prelievo di reattivo compreso tra il 33% e il 75% dell'Energia Attiva, occorre pertanto tarare in maniera opportuna il rifasamento in modo che il $\cos(\phi)$ risulti superiore a 0.95 come impongono le nuove norme.

Nella bolletta è presente inoltre un sovrapprezzo inerente alla certificazione “100% Energia Pulita”, una garanzia che tutta l’energia acquistata derivi da fonte rinnovabile, scelta puramente di marketing, che permette alla società di presentarsi come un’azienda green.

L’altra fornitura in via Usciana, presenta una potenza disponibile di 282 kW, con un consumo annuo di 393 MWh. In questa sede non vi sono macchinari particolarmente energivori, il carico elettrico è sostanzialmente formato dagli uffici ed un impianto di inertizzazione rifiuti, il cui dispendio energetico risulta marginale rispetto agli altri due stabilimenti.

4.4 Possibili azioni migliorative

Un possibile intervento al fine ridurre i costi della bolletta elettrica può essere quello di unificare i due punti di consegna. Questo comporterebbe alcune agevolazioni: dapprima un incremento dell’energia acquistata potrebbe comportare un miglior prezzo di fornitura¹; in secondo luogo, l’interconnessione tra i due impianti migliorerebbe il profilo del carico, in quanto è altamente probabile che i relativi picchi di carico siano sfasati temporalmente e quindi la potenza impegnata massima risulterebbe minore della somma delle due, pertanto diminuirebbero in bolletta gli importi totali della quota fissa e della quota potenza.

Infine l’unificazione dei due punti di fornitura comporterebbe una diminuzione dell’imposta erariale vista la sua tipologia tariffaria: rientrando nella soglia di potenza mensile inferiore a 1200MWh, l’importo sarebbe stato di 12.5 €/MWh per i primi 200MWh, e, 7.5€/MWh per i restanti, dunque vista l’energia acquistata comporterebbe un risparmio mensile di 1000€. Come illustrato, l’unificazione comporterebbe varie agevolazioni sia tecniche che economiche, tuttavia risulta un’operazione abbastanza complessa, pertanto andrebbe opportunamente valutato l’investimento.

Il passaggio ad un unico punto di consegna sarebbe stato necessario nel caso di installazione del pirogassificatore con taglia nominale di 600kW, in quanto esso avrebbe avuto una produzione eccedente rispetto ad una dei due impianti, e, dunque per sfruttarne i benefici economici, sarebbe stato necessario alimentare con

¹ Questo risultato è ottenibile anche lasciando fisicamente distinti i due POD e contrattandoli con un unico fornitore.

l'eccedenza l'altra parte dell'impianto. Tuttavia, un loro diretto collegamento non sarebbe stato possibile in quanto avrebbe creato una magliatura della rete, pertanto l'unica soluzione perseguibile sarebbe stata quella di passare ad un unico punto di consegna. L'installazione del pirogassificatore risultava problematica inoltre, in quanto, non essendo considerato un impianto rinnovabile, la sua produzione non sarebbe stata esente dal pagamento delle componenti addizionali, a meno che, non fosse risultato un impianto di Cogenerazione ad Alto Rendimento, di non semplice attuazione, in quanto oltre ad aver determinati rendimenti minimi elettrici e termici, deve essere dimostrato l'effettivo utilizzo del calore. Ad oggi, l'entrata in esercizio del pirogassificatore è stata quasi certamente abbandonata per motivazioni tecniche.

La nuova proposta è quella di installare un impianto a biomassa da 200kWe. Questa soluzione risolverebbe molte delle problematiche insite nell'installazione del pirogassificatore, in quanto essendo una fonte rinnovabile sarebbe esentata dal pagamento del 95% degli oneri di sistema, ed inoltre, con questa piccola taglia, sarebbe andata a coprire il carico di base di una delle due parti dell'impianto senza dover necessariamente apportare modifiche strutturali al sistema elettrico. Il calore in uscita, come nel caso precedente, potrebbe esser utilizzato in parallelo alla caldaia a metano, con il vantaggio rispetto al pirogassificatore, che il suo utilizzo non sarebbe stato cogente. Il fabbisogno di biomassa sarebbe ampiamente soddisfatto dal quantitativo di legna selezionato all'interno dell'impianto stimabile in 600t/mese.

5 Analisi dei consumi di Energia Elettrica registrati nel punto di fornitura

In questo capitolo verranno analizzati i consumi di energia elettrica dei due punti di prelievo principali di Waste Recycling, con particolare riferimento agli andamenti temporali della potenza assorbita. Questi dati, rilevati dal Distributore e forniti al cliente tramite i fornitori, sono stati forniti come consumi di energia elettrica riferiti al quarto d'ora, pertanto è stato possibile passare alla potenza media quartodioraria moltiplicando il valore dell'energia per quattro. Il campione dei dati analizzati è relativo all'arco temporale che va dal 1° Maggio 2015 al 30 Aprile 2016. L'ingente mole di dati è stata caricata sul software Excel, tramite il quale è stato possibile rielaborare i dati in modo da agevolarne la comprensione. Sono pertanto state calcolate le potenze massime mensili per fascia oraria e le potenze massime giornaliere, in modo da vedere se il picco dei carichi era dovuto ad un'anomalia verificatasi solo una volta su base mensile, o se queste punte di potenza avvenivano quotidianamente. Successivamente è stata calcolata l'energia assorbita sia a livello giornaliero che mensile, per poi confrontarla con i dati storici presenti nelle bollette elettriche, per una verifica di congruenza. Infine sono stati tracciati i diagrammi di durata del carico, utili per la comprensione del profilo del carico.

5.1 Analisi profilo via Confina

Come precedentemente visto, il punto di consegna di via Confina è quello che va ad alimentare la parte dell'impianto adibita al trattamento biologico. Questa linea di lavorazione lavora ininterrottamente e il carico complessivo risulta considerevole in quanto l'impianto di ossigenazione delle vasche di ossidazione assorbe un'ingente potenza.

In un primo momento sono stati analizzati i picchi di potenza e le energie consumate a livello mensile come mostrato in Fig.14.

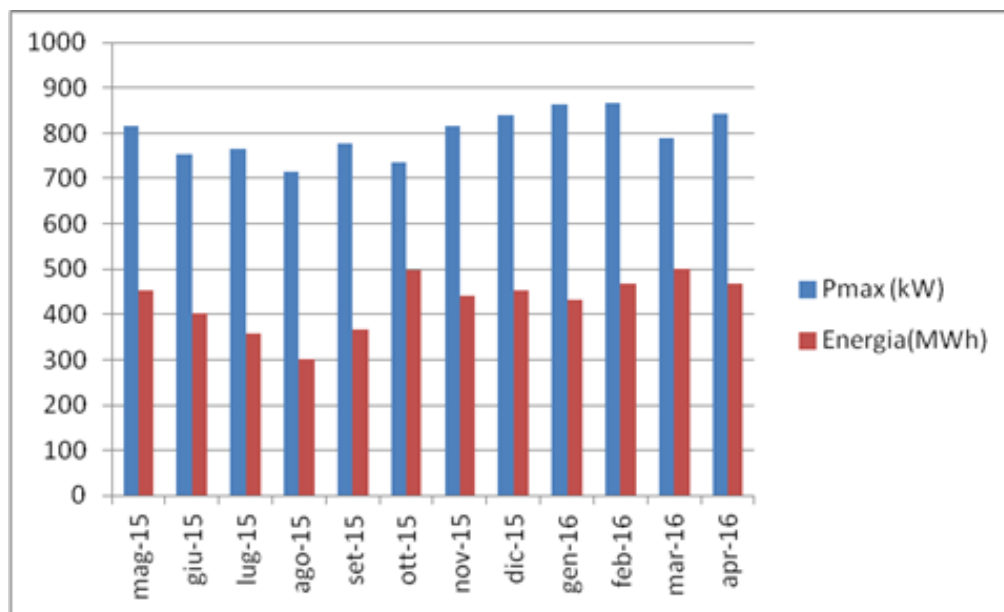


Figura 14: Grafico annuale della potenza impegnata e dell'energia consumata nello stabilimento di via Confina

Dall'analisi del grafico si può dedurre che la potenza massima mensile risulta piuttosto costante, prossima a 800kW, assai superiore alla potenza disponibile contrattuale, pertanto è molto probabile che il Distributore richieda un adeguamento una *tantum* della potenza disponibile (circa 55 €/kW). Dall'analisi del consumo energetico si nota come nel trimestre estivo Luglio-Agosto-Settembre del 2015 vi è una sostanziale diminuzione dei consumi, dato molto probabilmente dal fatto che in questi mesi vi sia un minor volume di reflui da trattare, in quanto le attività produttive della zona, non lavorando a pieno regime, producono una minor quantità di rifiuti.

Nel grafico di Fig.15 è rappresentato un profilo giornaliero del carico; in particolare è stato analizzato il giorno 06 Aprile 2016, giorno in cui si è registrato il picco di potenza mensile. Si può notare che la massima richiesta di potenza si è attestata attorno a 840kW ed è avvenuta alle ore 4, con una crescita molto breve e brusca, durata per una singola rilevazione, per poi assestarsi a circa 800kW. Vista l'entità e la breve durata temporale, probabilmente questo picco è dovuto ad un aumento della richiesta di potenza dei compressori, causato da una diminuzione del livello di ossigeno nel refluo. Risulta improbabile che questo picco sia dato dalle pompe adibite al processo di osmosi; queste, come visto, hanno ingenti potenze e dunque avrebbero potuto produrre quel gradino di carico, tuttavia risulta improbabile che

abbiano lavorato solo per un quarto d'ora, visto che sono azionate da un sensore di livello nel serbatoio.

È importante notare la scala utilizzata sull'asse delle ordinate, in quanto in realtà l'entità delle oscillazioni, rapportate al valor medio della potenza, risulta assai piccola ($\pm 5\%$).

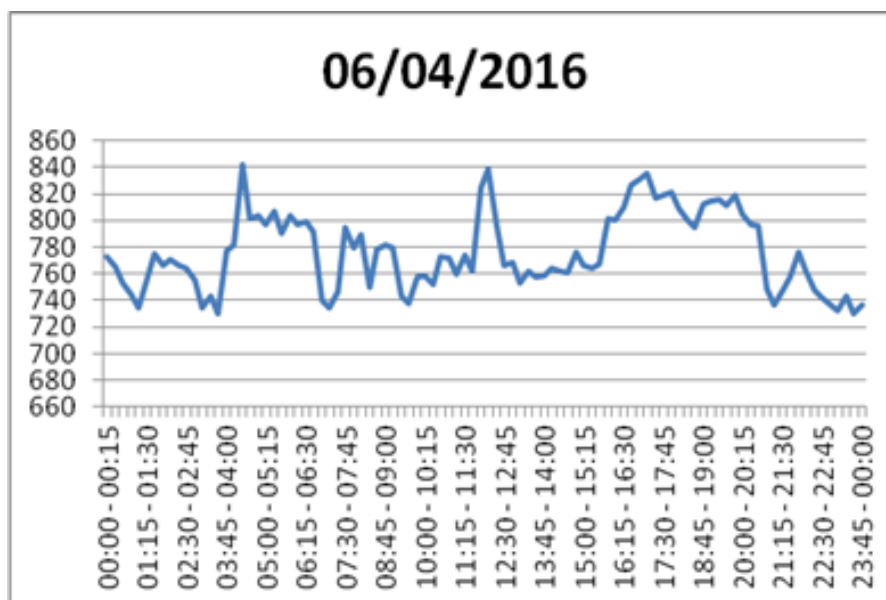
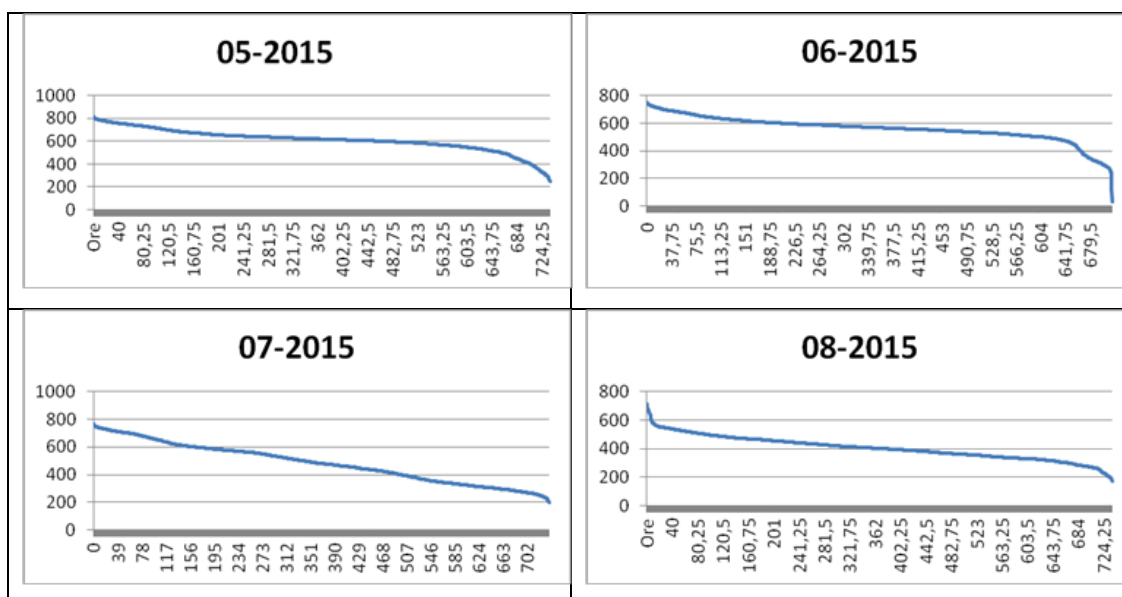


Figura 15: Profilo del carico nel giorno in cui si è verificata la massima potenza mensile (aprile 2016).

Infine sono stati tracciati i diagrammi di durata del carico. A tal fine è stata scritta una macro in Excel che, in modo automatico, dispone tutti i dati su un'unica colonna e, successivamente, ordina le potenze quartodinarie in modo decrescente.



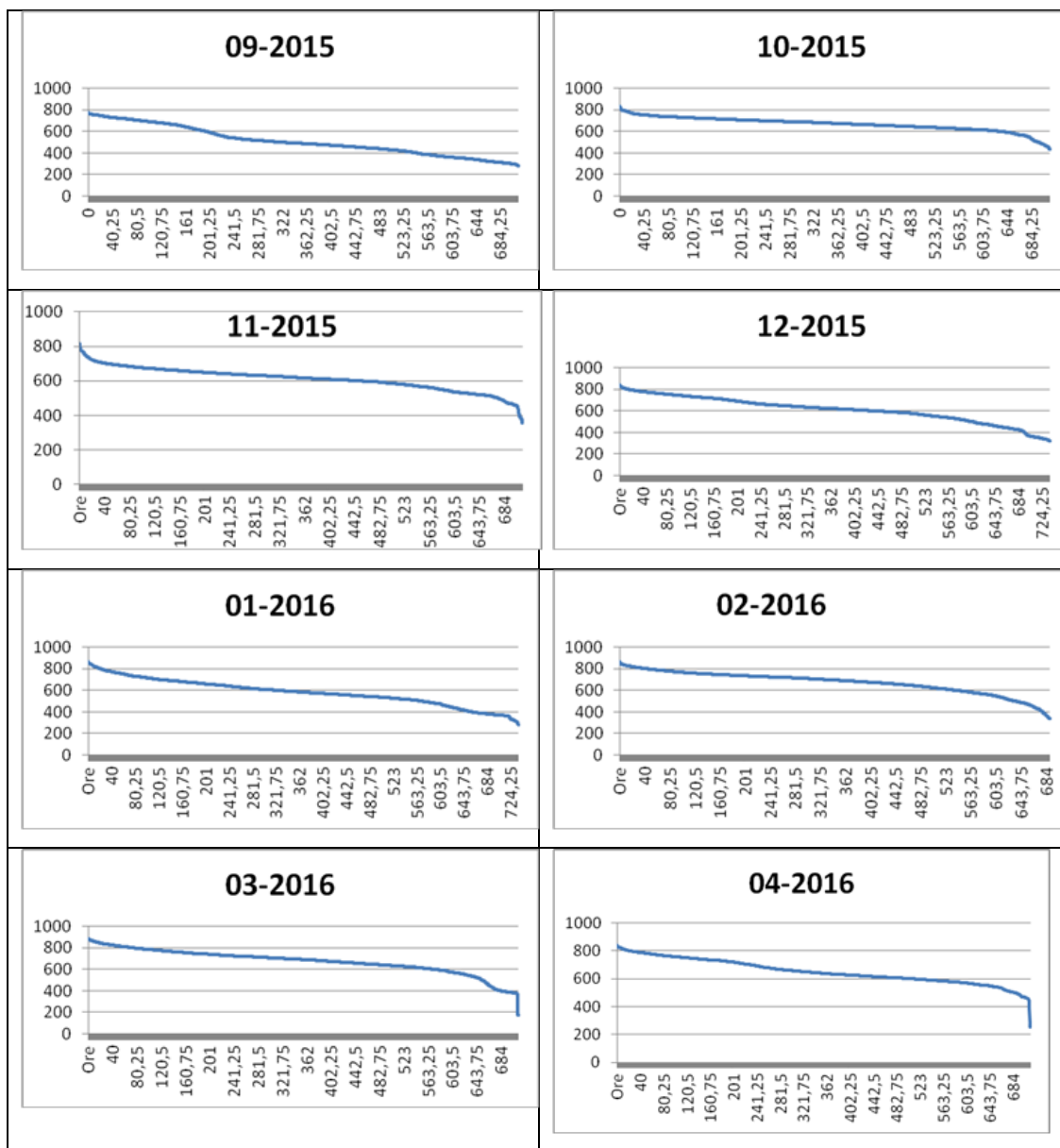


Figura 16: Diagramma di durata del carico dello stabilimento di via Confina dei 12 mesi analizzati (ascissa: ore/mese; ordinata: kW)

Dall'analisi di questi diagrammi è possibile notare come vi sia una correlazione tra l'energia mensilmente consumata e la pendenza del diagramma di durata; infatti nei mesi in cui il carico è stato basso il diagramma di durata del carico ha avuto una pendenza maggiore, ovvero il carico ha avuto una maggiore fluttuazione. Tuttavia in generale, si può osservare come il carico sia piuttosto costante ed equilibrato, indipendentemente dalle fasce orarie, con piccoli picchi che sono naturali nell'evoluzione del carico, e che probabilmente andranno ulteriormente ad addolcirsi con il passaggio al meccanismo di ossigenazione delle vasche tramite ossigeno liquido.

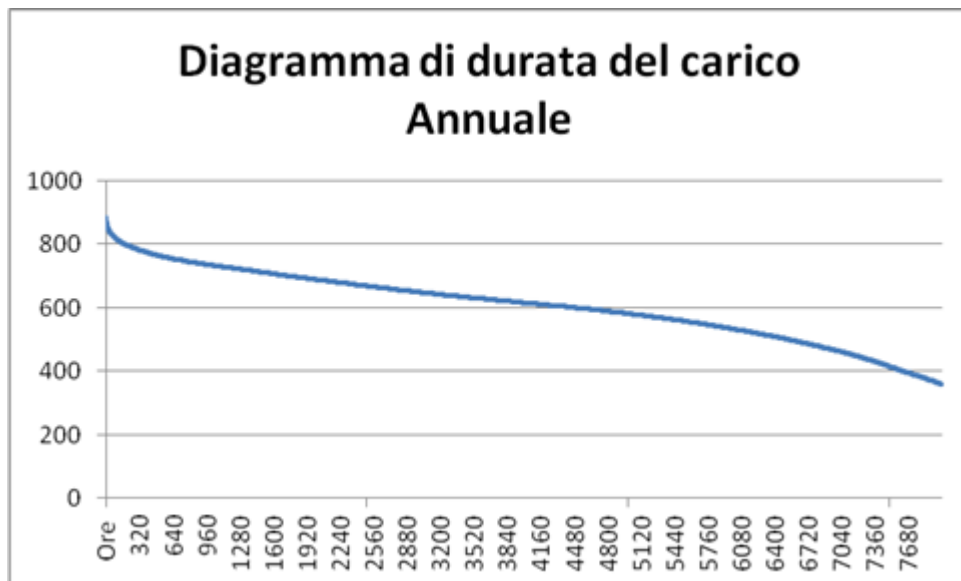


Figura 17: Diagramma di carico annuale dello stabilimento di via Confina (ascissa: ore/anno; ordinata: kW)

Analizzando il diagramma di durata del carico annuale dello stabilimento di via Confina, rappresentato in Fig.4, si conferma quanto già evidenziato nell'analisi mensile, in quanto la curva annuale ricalca la forma di quella mensile.

In Fig.18 sono invece rappresentate le ore equivalenti relative a ciascun mese, ottenute dividendo ciascun energia mensile per il corrispondente picco di potenza mensile. Il valore elevato delle ore di utilizzazione sia mensili (mediamente circa 500 h/mese) che annuali (5940 h/anno) conferma l'elevata costanza del carico.

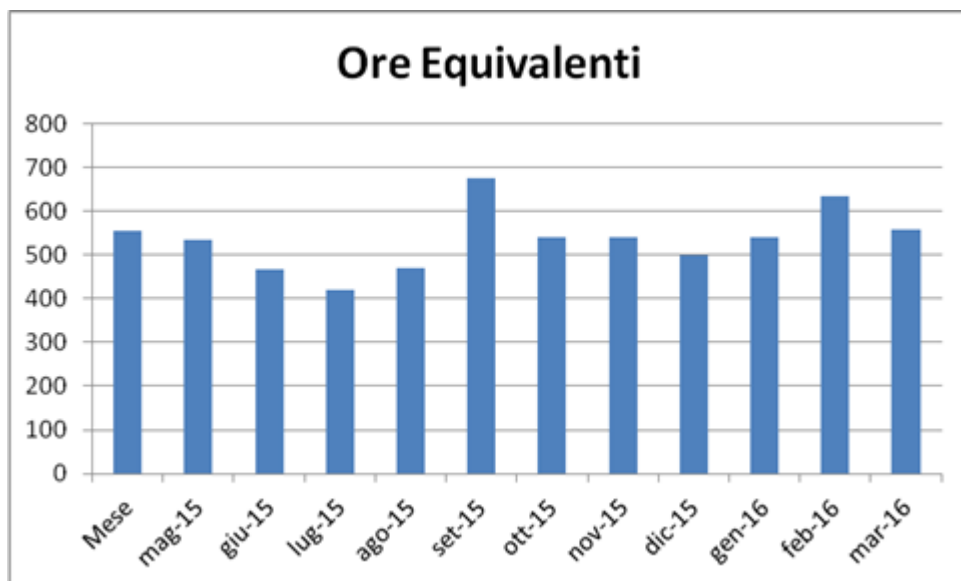


Figura 18: Ore equivalenti mensili per lo stabilimento di via Confina

5.2 Analisi profilo di via Malpasso

L'altro punto di consegna dell'energia elettrica è posto in via Malpasso e alimenta la parte dell'impianto adibita al trattamento dei rifiuti solidi e alla linea di trattamento chimico-fisico, che come visto dall'analisi delle bollette presenta un'ingente potenza installata, ma in generale un basso fattore di utilizzazione e di contemporaneità del carico. Il profilo risultante ha dunque delle oscillazioni molto più ampie rispetto al caso precedente, in particolare sarà caratterizzato da ampi gradini di carico causati dall'entrata in funzione di una certa linea di lavorazione. Questa parte dell'impianto risulta inoltre in continua evoluzione, poiché il settore del trattamento rifiuti necessita di una notevole flessibilità e dinamicità per far fronte ad un mercato sempre più competitivo e a fronte di un rifiuto dalle caratteristiche altamente variabili.

In Fig.19 sono rappresentate la potenza massima e l'energia utilizzata in ciascun mese. Si può notare come, analogamente al caso precedente, nei mesi estivi vi è un calo dei consumi, tuttavia meno marcato rispetto al caso precedente. La potenza impegnata risulta sempre inferiore agli 800 kW, sufficientemente inferiore alla potenza contrattualmente disponibile di 825kW.

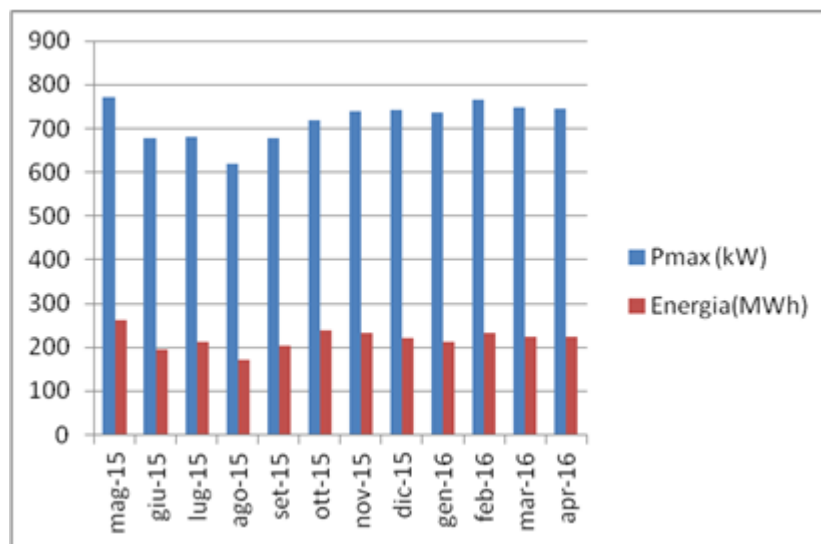


Figura 19: Diagramma di carico annuale dello stabilimento di via Malpasso (ascissa: ore/anno; ordinata: kW)

In Fig.7 è invece rappresentato il profilo giornaliero del giorno 05 Aprile 2016, giorno in cui si ha la massima potenza impegnata mensile.

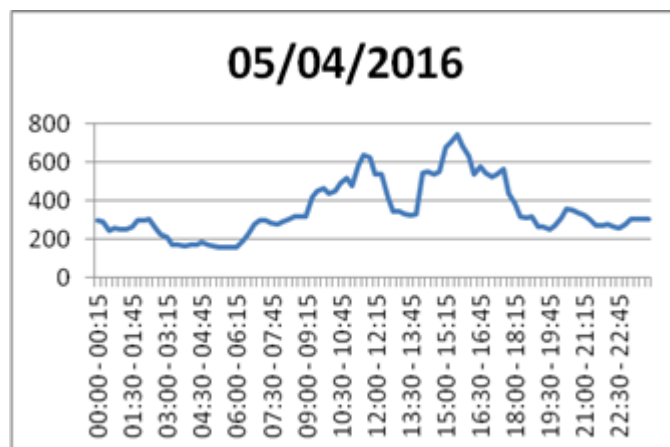


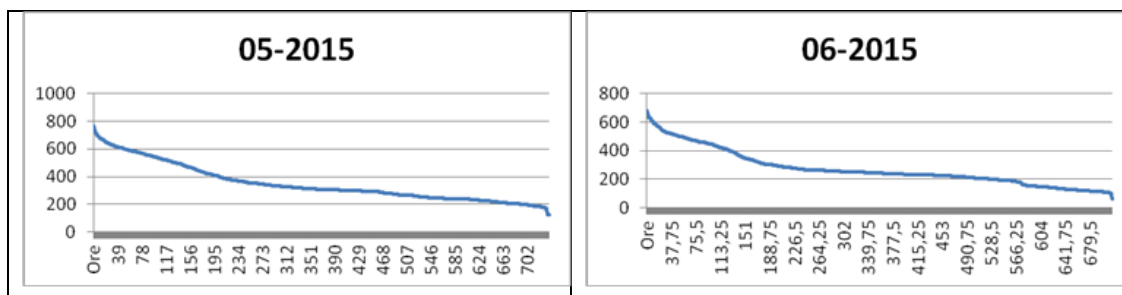
Figura 20: Profilo giornaliero del carico. È stato rappresentato il giorno 05/04, giorno in cui si è verificata la massima richiesta di potenza

Si può notare come la potenza sia fortemente oscillante con due picchi molto accentuati, posti rispettivamente uno alle 11 e l'altro alle 15 circa. Questa caratteristica è riscontrabile su tutti i diagrammi giornalieri, pertanto si può dedurre che è correlata a una delle linee di lavorazione.

Nell'eventualità in cui questa parte dell'impianto venisse alimentata con energia autoprodotta, la taglia ottimale dell'impianto dovrà essere tale da non eccedere il carico di base (circa 200 kW) in quanto la cessione delle eccedenze di produzione alla rete è meno remunerativa dell'autoconsumo. Si ricorda inoltre che il costo evitato di acquisto associato all'autoconsumo è particolarmente significativo solo quando l'impianto di generazione rientra in una delle categorie esenti dal pagamento delle componenti A sull'energia autoprodotta e autoconsumata (FER e CAR).

Un aumento del carico di base, finalizzato a rendere remunerativo anche un impianto di autoproduzione con potenza superiore a 200 kW, potrebbe essere ottenuto unificando i due punti di fornitura.

Infine sono stati tracciati i diagrammi mensili di durata del carico, visibili in Fig.21 .



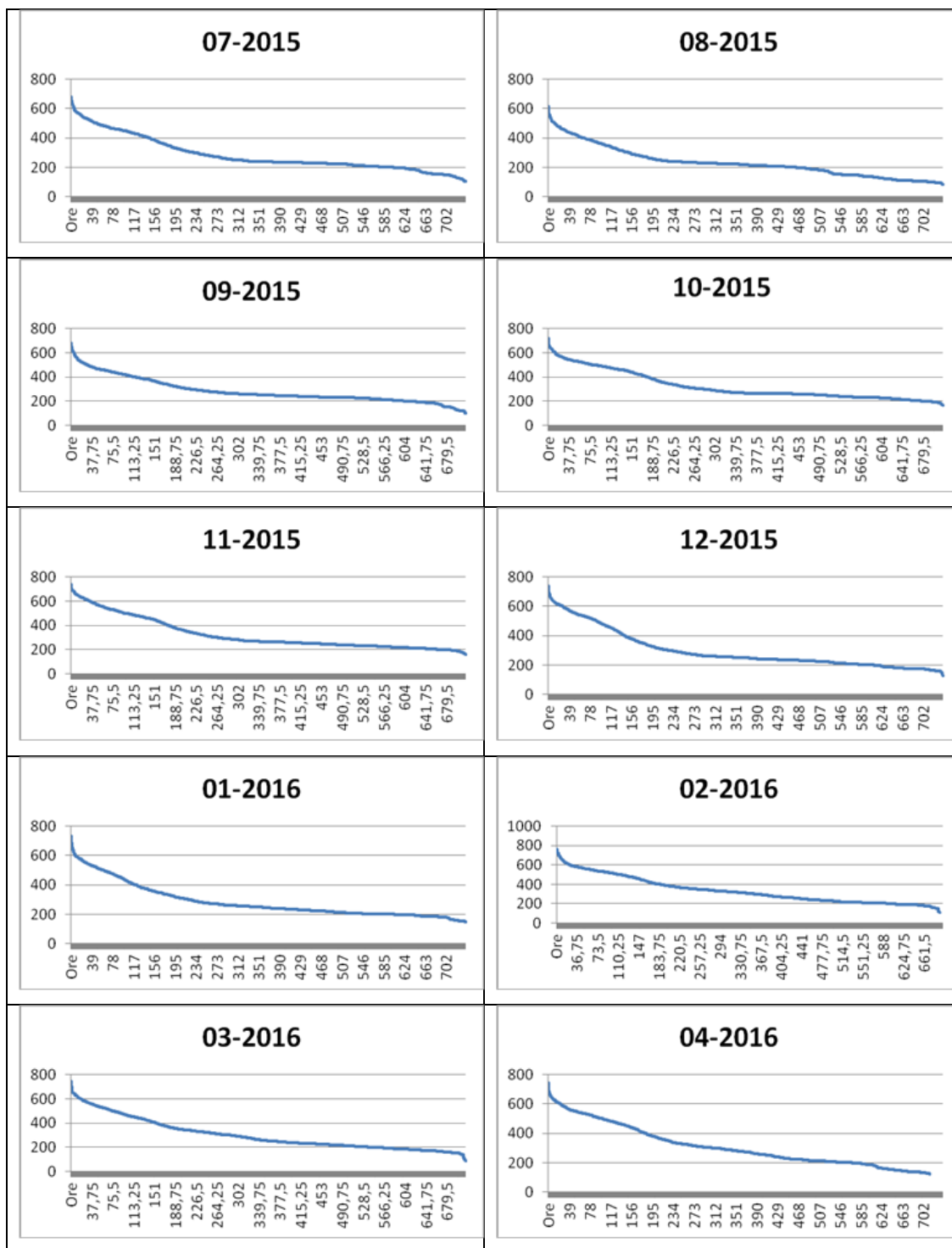


Figura 21: Diagramma di durata del carico dello stabilimento di via Malpasso dei 12 mesi analizzati
(ascissa: ore/mese; ordinata: kW)

Il diagramma di durata del carico evidenzia la grande variabilità del carico: si può notare come la pendenza della curva risulti alquanto accentuata, in particolare nel tratto iniziale.

Un miglioramento del profilo del carico ai fini tariffari sarebbe conseguibile ottimizzando la gestione delle linee di lavorazione, in modo da ottenere un risparmio economico sulla bolletta elettrica agendo su uno sfasamento temporale dei carichi. Una tipologia d'intervento sarebbe quella di spostare nelle ore notturne parte dei processi, ottenendo così un risparmio di circa 10€/MWh, oppure abbassare il picco del carico, in modo da diminuire l'aliquota "quota potenza" in bolletta.

Infine sono stati rappresentati in Fig.22 e in Fig.23 rispettivamente il diagramma di durata del carico annuale e le ore equivalenti mensili di via Malpasso, come parametri di sintesi di ciò che è stato precedentemente esposto. Possiamo vedere come le ore equivalenti risultano piuttosto basse, in quanto si assestano su circa 300 ore equivalenti mensili e complessivamente 3409 ore equivalenti annue.

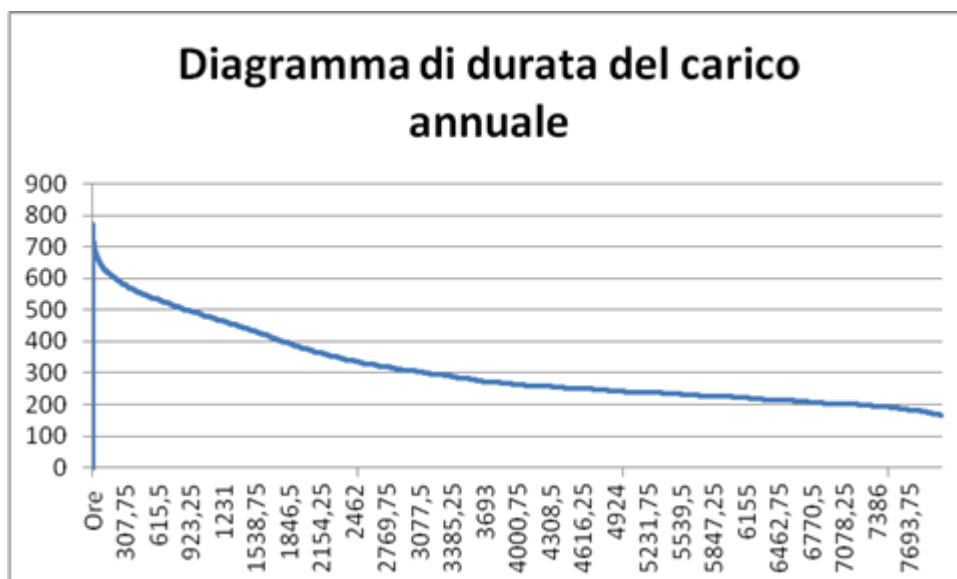


Figura 22: Diagramma di carico annuale dello stabilimento di via Malpasso

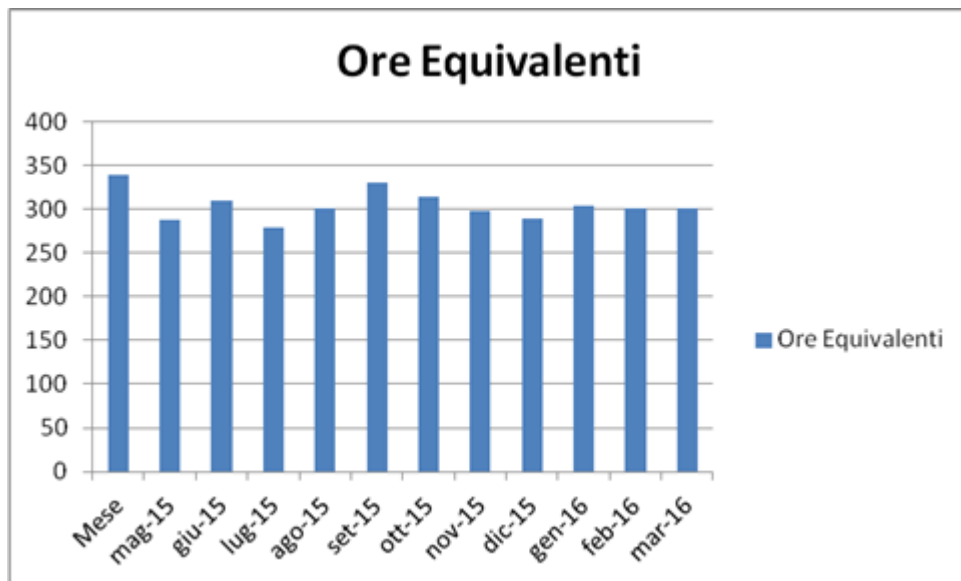


Figura 21: Ore equivalenti mensili per lo stabilimento di via Malpasso

5.3 Possibile interconnessione dei due sistemi

In questo paragrafo verrà analizzato l'andamento del carico nell'eventualità in cui i due attuali punti di fornitura venissero interconnessi. Questa ipotesi era stata precedentemente suggerita nell'eventualità in cui il pirogassificatore da 600 kW fosse entrato in funzione. In questo caso, per sfruttare a pieno i benefici economici precedentemente descritti, sarebbe stato necessario collegare i due impianti, rigorosamente nella forma dell'unificazione dei due punti di consegna in quanto altrimenti si sarebbe realizzata una magliatura nella rete, non permessa dal Distributore.

In Fig.24 è rappresentato il diagramma giornaliero del 29 di Aprile, nell'eventualità in cui i due sistemi fossero interconnessi. Si evince come in questa giornata una generazione da 600 kW avrebbe coperto gran parte del carico di base, comportando un significativo risparmio sui costi di acquisto dell'energia, stimabile in circa 100 €/MWh, ovviamente da depurare dei costi operativi del pirogassificatore.

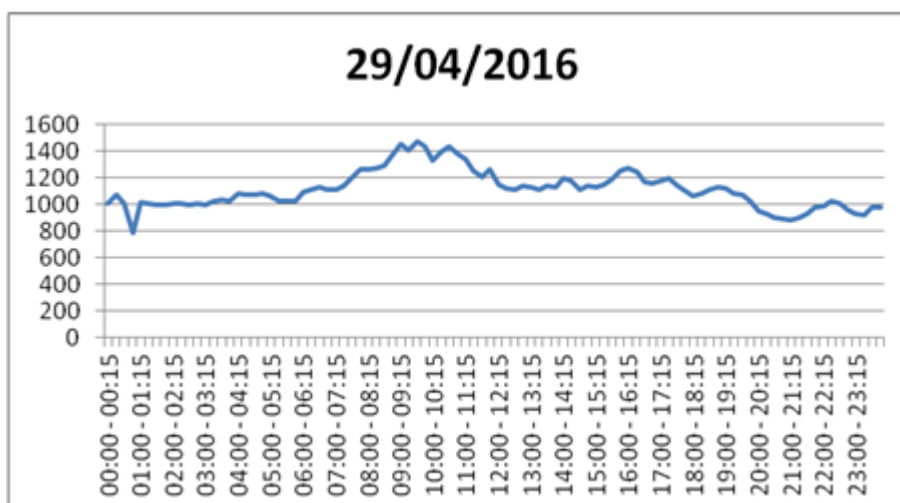


Figura 22: Andamento temporale della potenza(kW), nel giorno di carico massimo del mese di Aprile, nell'eventualità in cui i due sistemi fossero stati interconnessi

Dal diagramma di durata del carico nell'eventualità in cui i due sistemi fossero interconnessi, si evince un marcato addolcimento della pendenza della curva, ovvero un aumento delle ore equivalenti, passando da 301 e 557 ore equivalenti, rispettivamente per stabilimento di via Malpasso e via Confina, a 468 ore equivalenti per lo stabilimento elettricamente unificato. .

Da notare che nel caso di interconnessione, unificando il punto di consegna, la potenza massima risulta minore della somma delle potenze massime di ciascun impianto, pertanto in bolletta si avrebbe avuto complessivamente un esborso inerente alla quota potenza inferiore alla somma dei due, e, l'eliminazione di parte dei costi fissi.

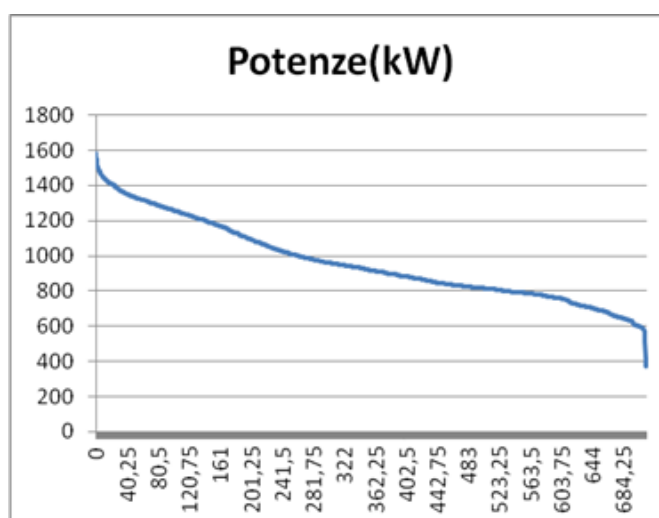


Figura 23: Diagramma di durata del carico nel mese di Aprile 2016 nell'eventualità in cui i due sistemi fossero stati interconnessi.

6 Analisi dei consumi mensili registrati ai contatori dei vari impianti dello stabilimento

In questo capitolo verranno analizzate le misure di energia rilevate mensilmente ai contatori di ciascuna area dello stabilimento, in modo da determinare il contributo di ogni impianto al consumo complessivo.

Questi contatori sono utilizzati dall'azienda per ripartire il costo dell'energia elettrica sui vari centri di costo, in modo da riuscire a determinare più propriamente il consumo di ciascuna linea di lavorazione e dunque a calibrare l'offerta commerciale. In Fig.26 sono riportati i consumi del mese di Marzo 2015 e del mese di Marzo 2016, per tutti gli aggregati di carico principali alimentati dalla fornitura di via Malpasso.

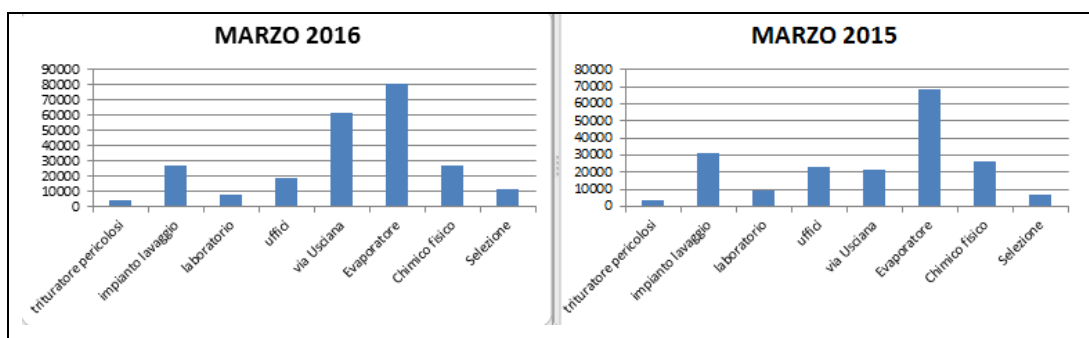


Figura 24: Consumi di energia elettrica(kWh) rispettivamente dei mesi di Marzo 2016 e Marzo 2015

Si può notare come, a distanza di un anno, non ci siano significative variazioni dei consumi di ciascun impianto.

Risulta di particolar interesse calcolare le ore equivalenti di funzionamento alla massima potenza di ciascun carico elettrico: tanto più questo valore è elevato, più costante sarà il suo profilo temporale. Questo parametro permette anche di capire la possibile tipologia d'intervento su ciascuna linea di lavorazione.

La misura citata come “trituratore pericolosi” è relativa al contatore dell'area 12, il quale alimenta esclusivamente il trituratore dei rifiuti pericolosi, avente una potenza elettrica nominale di 200 kW.

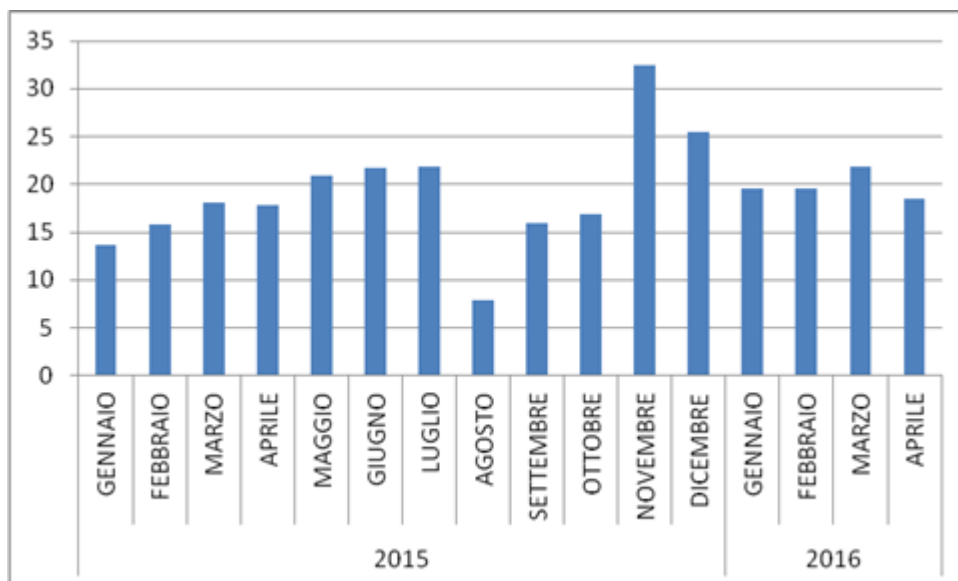


Figura 25: Ore equivalenti mensili del trituratore rifiuti pericolosi (ascissa: mese; ordinata: ore equivalenti)

In Fig.27 sono rappresentate le ore equivalenti mensili del trituratore nel periodo Gennaio 2015-Aprile 2016. Si può notare come le ore equivalenti mensili siano estremamente basse, pertanto l'unica tipologia d'intervento possibile per questo carico risulta quella di effettuare un'analisi continua del profilo di carico, in modo da cercare eventualmente di eliminarne i relativi picchi di potenza. In un'ottica di gestione più ampia, il trituratore, vista l'ingente potenza e le basse ore di utilizzo, potrebbe essere sfalsato temporalmente rispetto alle altre utenze che richiedono un grande apporto di potenza.

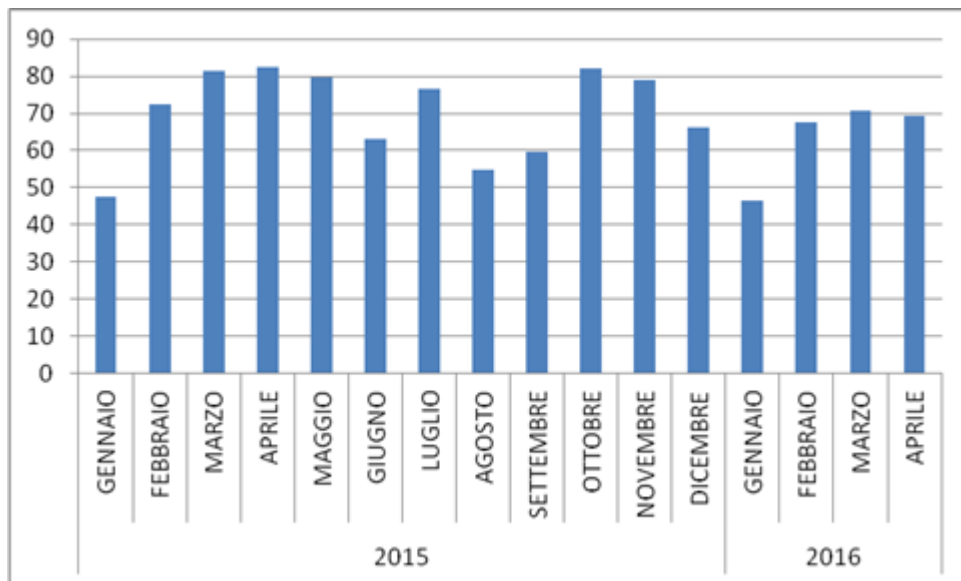


Figura 26:Ore equivalenti mensili del impianto di lavaggio dei rifiuti pericolosi (ascissa: mese; ordinata: ore equivalenti)

In Fig.28 sono rappresentate le ore equivalenti registrate nello stabilimento 11, il cui carico elettrico è costituito dalla linea di lavaggio dei rifiuti solidi pericolosi, contenente un tritatore da 130 kW, un sistema di lavaggio e asciugatura da 150 kW e un mulino da 100 kW, per una potenza complessivamente installata di 380 kW. Risulta interessante ricordare che il sistema di lavaggio presenta un sistema di riscaldamento dell'acqua (a circa 50°C) tramite resistenze elettriche, in quanto lo stabilimento risulta molto distante dalla caldaia a metano. Le ore equivalenti mensili dell'impianto si attestano a circa 70; visto il basso utilizzo, non risulta economicamente conveniente apportare soluzioni alternative energeticamente più efficienti per riscaldare l'acqua. Una possibile miglioria potrebbe essere quella di disaccoppiare le tre fasi della lavorazione, inserendo tra di esse un sistema di accumulo, in modo da avere un profilo di carico più costante.

In Fig.29 sono rappresentate le ore equivalenti relative al carico elettrico formato dalla coppia di evaporatori (2x75kW) e dalla torre di raffreddamento (75kW), per un totale di 225 kW.

Come si evince dal diagramma, questo impianto viene utilizzato costantemente; è pertanto una delle componenti che va a formare il carico di base della fornitura elettrica di via Malpasso.

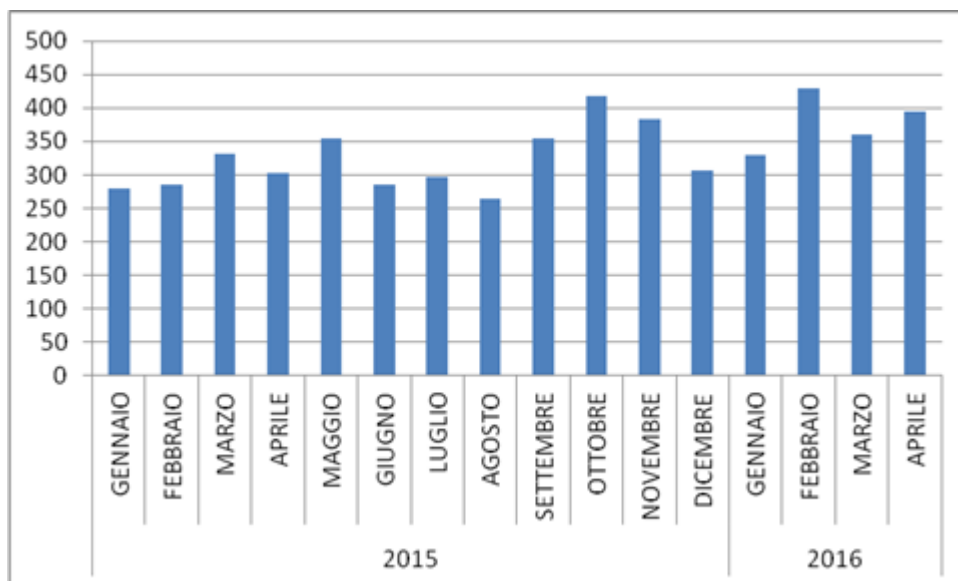


Figura 27: Ore equivalenti mensili della linea evaporatori e torre di raffreddamento (ascissa: mese; ordinata: ore equivalenti)

In Fig.30 sono rappresentate le ore equivalenti mensili inerenti la linea di trattamento chimico-fisico; si tratta del carico elettrico formato dagli 8 reattori (8x10kW) e dai vari sistemi di pompaggio.

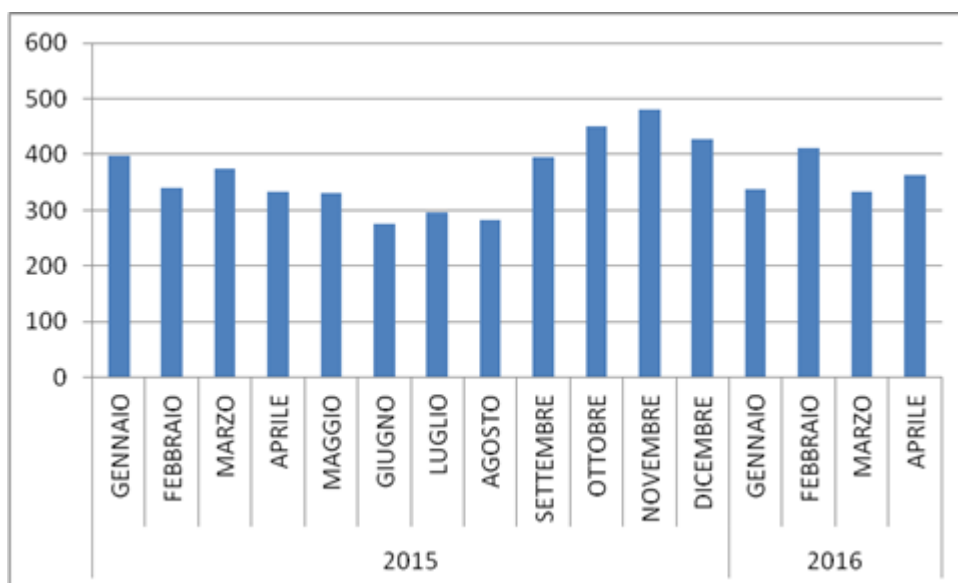


Figura 30: Ore equivalenti mensili del reparto chimico fisico (ascissa: mese; ordinata: ore equivalenti)

Anche questa linea di trattamento, come descritto per gli evaporatori, lavora pressoché costantemente, e vista la modesta potenza impegnata, non presenta realistiche opportunità di efficientamento.

L'impianto dell'area 8 è dotato di un contatore collegato al quadro che alimenta l'impianto di selezione, composto da un vaglio, un'elettrocalamita ed una pressa, e dall'insieme di motori che movimentano i nastri trasportatori, per un totale di circa 60kW. Le ore equivalenti mensili si attestano intorno a 150, valore piuttosto basso visto che in questa linea di lavorazione, a differenza delle altre, vi è anche un grande utilizzo della manodopera e pertanto lavora prevalentemente nelle ore diurne feriali.

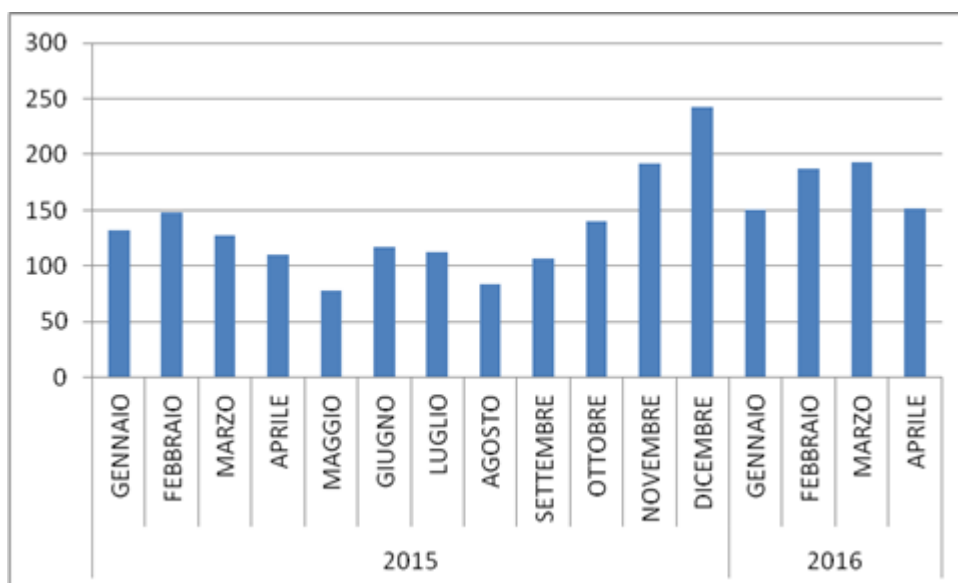


Figura 28: Ore equivalenti mensili dell'impianto di selezione(ascissa: mese; ordinata: ore equivalenti)

Infine per quanto riguarda il punto di consegna in via Usciana, risulta poco significativo il calcolo delle ore equivalenti in quanto non tratta una specifica linea di lavorazione, ma di un aggregato di carichi composto dagli uffici e da una linea di inertizzazione dei rifiuti, la cui richiesta energetica risulta modesta.

7 Trattamento acque reflue

7.1 Introduzione

Si definisce trattamento delle acque reflue il processo di rimozione dei contaminanti da un'acqua reflua di origine urbana o industriale, ovvero da un effluente che è stato contaminato da inquinanti organici e/o inorganici.

Le acque reflue non possono essere reimmesse nell'ambiente tal quali, poiché i recapiti finali come il terreno, il mare, i fiumi e i laghi non sono in grado di ricevere una quantità di sostanze inquinanti superiore alla propria capacità autodepurativa. Il trattamento di depurazione dei liquami consiste in una successione di più fasi, durante le quali dall'acqua reflua vengono rimosse le sostanze indesiderate che vengono concentrate sotto forma di fanghi, dando luogo a un effluente finale di qualità tale da risultare compatibile con la capacità autodepurativa del corpo ricettore prescelto per lo sversamento, senza che questo ne possa subire danni.

Il ciclo depurativo è costituito da una combinazione di più processi di natura chimica, fisica e biologica. I fanghi provenienti dal ciclo di depurazione sono spesso contaminati con sostanze tossiche e pertanto devono subire anch'essi una serie di trattamenti necessari a renderli idonei allo smaltimento.

7.2 Riferimenti normativi

La lotta contro l'inquinamento è stata avviata all'inizio degli anni '70 per rimediare ad una situazione grave e preoccupante di compromissione ambientale, in particolare riguardo a danni al patrimonio zootecnico ed agricolo e problemi di inquinamento delle acque superficiali e sotterranee.

Il primo provvedimento legislativo a livello nazionale per limitare il fenomeno dell'inquinamento è stata la legge 319/76, nota come legge Merli, che riguardo agli scarichi di acque reflue poneva dei limiti alla concentrazione degli inquinanti. Questa legge aveva alcuni aspetti limitanti, in quanto poneva dei limiti solamente agli scarichi e non al corpo ricettore, alla concentrazione degli inquinanti e non la portata dello scarico.

Nei successivi decenni, sono state emanate leggi e direttive europee molto più stringenti, in particolare legiferando non solo sul refluo finale, ma sull'intero ciclo di produzione del rifiuto, dall'estrazione delle materie prime al ciclo produttivo.

Ad oggi, lo scarico delle acque reflue industriali è regolamentato da D.Lgs. 152/06, il quale definisce “acque reflue industriali” qualsiasi tipo di acque reflue provenienti da edifici o installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione dei beni, differenti qualitativamente dalle acque reflue domestiche e da quelle meteoriche di dilavamento, intendendosi per tali anche quelle venute in contatto con sostanze o materiali anche inquinanti, non connessi con le attività esercitate nello stabilimento.

Per questi, lo scarico in rete fognaria è ammesso a seguito di concessione di Autorizzazione da richiedere all'Autorità di ambito. È richiesto il rispetto delle disposizioni del regolamento di gestione della pubblica fognatura. I limiti per lo scarico in fognatura sono quelli della Tabella 3, (Allegato 5 alla parte III), della tabella 3/A. La regolamentazione dello scarico non in pubblica fognatura dipende dall'entità del recapito.

Alcune tipologie di acque industriali sono tuttavia assimilabili alle domestiche, queste sono stabilite dalle Regioni.

La medesima normativa determina inoltre le caratteristiche degli scarichi degli impianti di depurazione, fissando dei valori limite, in particolare si hanno due tipologie diverse a seconda che lo scarico sia di tipo urbano o industriale.

7.3 Caratteristiche del refluo

Per la completa caratterizzazione di un refluo occorre acquisire informazioni circa i parametri fisici, chimici e biologici che ne descrivono proprietà e composizione.

Il contenuto dei solidi in un refluo rappresenta la più importante tra le caratteristiche fisiche. Le componenti solide comprendono le sostanze flottabili, le sostanze sedimentabili, le particelle colloidali e il materiale in soluzione. I solidi presenti nelle acque reflue sono caratterizzati da un'estrema eterogeneità dimensionale, che variano da quelle caratteristiche del materiale grossolano a quelle delle particelle colloidali. Una classificazione dei solidi può essere fatta sulla base di un criterio dimensionale: questa proprietà si traduce in diverse modalità di separazione solido-liquido; ad esempio ai fini pratici solamente le particelle che hanno dimensioni sufficientemente elevate possono essere rimosse per mezzo di un processo di sedimentazione; particelle di dimensione “troppo piccole” hanno velocità di deposizione che la loro

sedimentazione richiederebbe tempi dell'ordine dei giorni o mesi, pertanto per questa tipologia di particelle si ricorre ad altri procedimenti.

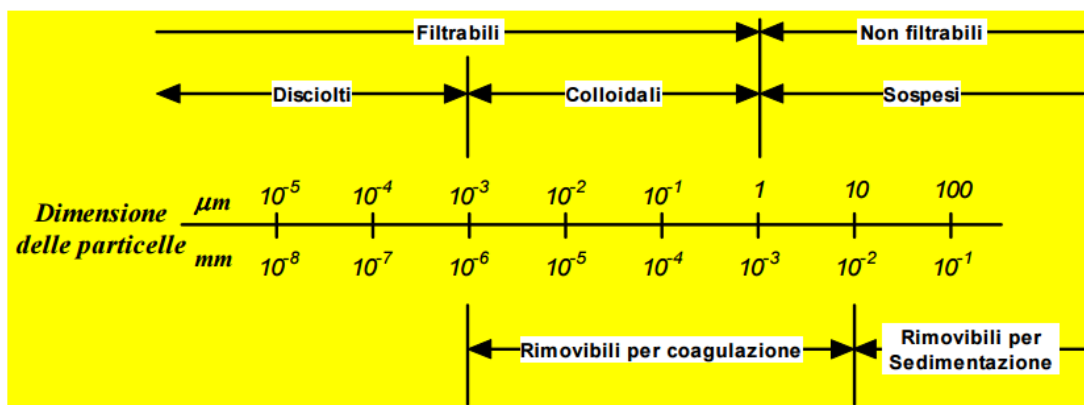


Figura 29: Varie tecniche di trattamento fisico in funzione della dimensione delle particelle

La determinazione dei solidi sedimentabili viene effettuata mediante l'impiego di un cono graduato, detto cono imhoff, di volume pari ad 1l, all'interno del quale viene posto un campione di refluo; dopo un tempo di attesa di due ore viene misurato il volume dei solidi che si sono depositati sul fondo del cono.

Il contenuto di solidi sedimentabili fornisce un'indicazione dei solidi rimovibili dalle acque reflue per semplice sedimentazione.

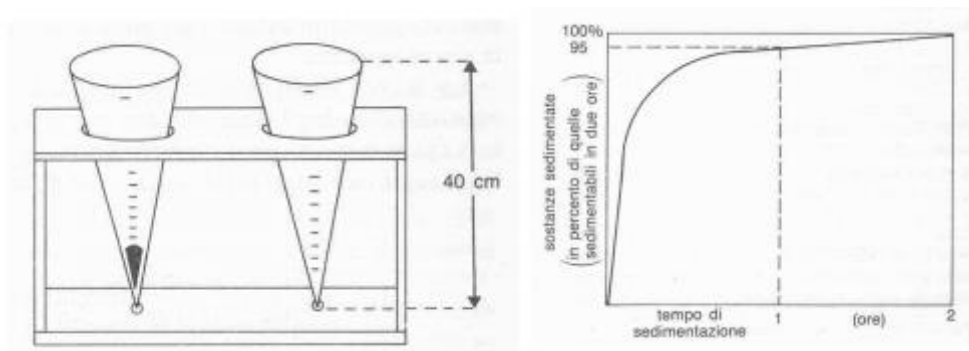


Figura 30: A sinistra è rappresentato un cono imhoff, mentre a destra è rappresentato la quantità percentuale di sostanze sedimentate in funzione del tempo.

I solidi sospesi sono costituiti dai solidi presenti in acqua che vengono trattenuti da un filtro che per convenzione è stato stabilito della porosità di $0.45\mu\text{m}$. La quantità di solidi sospesi si determina sperimentalmente in laboratorio mediante la differenza di peso di un filtro utilizzato per filtrare un volume noto di acqua. La misura viene solitamente effettuata su campioni provenienti dalla vasca di ossidazione al fine di determinare la concentrazione del fango e su campioni di acqua effluenti

dall'impianto al fine di verificare il funzionamento della sedimentazione finale ovvero il grado di chiarificazione dell'effluente.

Si definiscono solidi volatili i solidi che vengono volatilizzati e combusti in seguito al riscaldamento del campione di reflu, preventivamente essiccato, a temperature di 600°C. In generale questo valore rappresenta una misura della sostanza organica, sebbene una porzione di questa possa risultare inerte rispetto alla combustione e allo stesso tempo alcuni solidi inorganici possono decomporsi alle alte temperature.

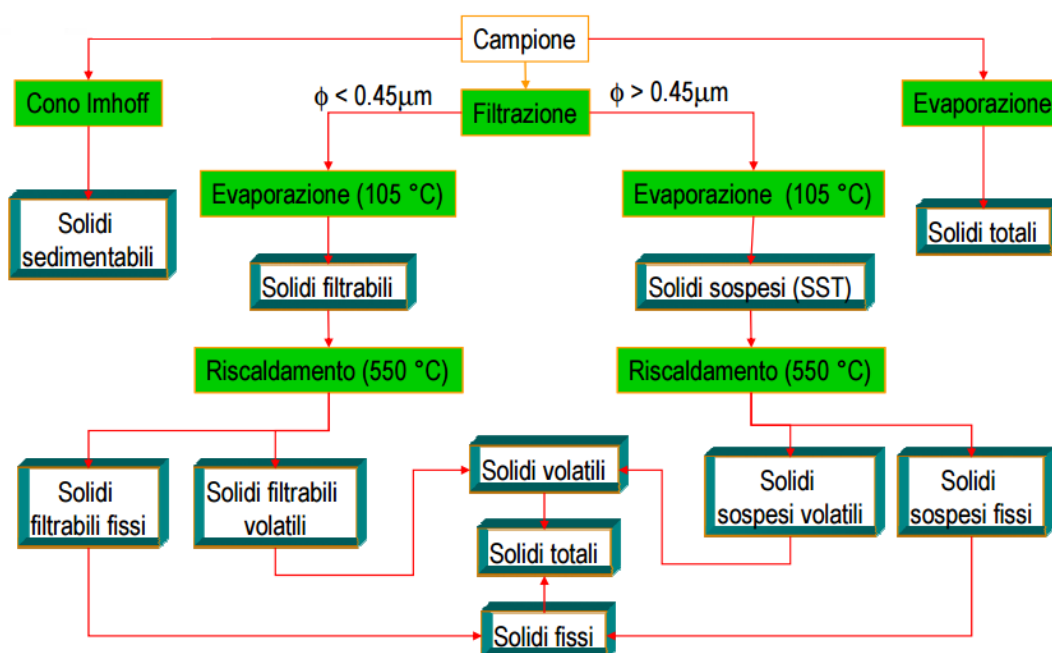


Figura 31: Schema logico delle varie tecniche di separazione fisica.

Ai fini della conoscenza delle caratteristiche delle particelle solide, è utile far riferimento alle dimensioni delle particelle stesse e analizzarne la distribuzione dimensionale, in quanto la conoscenza delle dimensioni consente di verificare l'efficienza di alcune linee di trattamento, ed infine essendo inoltre la cinetica delle reazioni biologiche fortemente influenzata dalle dimensioni delle particelle organiche biodegradabili, la conoscenza di questo parametro risulta fondamentale ai fini del trattamento.

I parametri chimici sono solitamente espressi mediante unità di misura di tipo fisico che forniscono la concentrazione delle sostanze nel mezzo considerato, a partire dagli ioni più comuni fino alle sostanze organiche più complesse. I parametri chimici possono essere suddivisi in due grandi categorie: composti organici ed inorganici.

L'Azoto e il Fosforo rappresentano due elementi essenziali per la crescita dei microrganismi e delle specie vegetali e animali, e sono pertanto definiti come nutrienti o biostimolatori. Dal momento che l'azoto rappresenta un elemento fondamentale per la sintesi delle proteine, occorre verificarne la presenza nelle acque reflue così da poter valutare l'applicabilità di trattamenti di depurazione di tipo biologico. Esso può quindi essere un parametro caratterizzante quanto un parametro indice di inquinamento, in quanto l'azoto all'interno del refluo può essere in vari stati di ossidazione.

Gli elementi in traccia sono così definiti perché contenuti nelle acque in quantità generalmente modesta, di questi fanno parte anche i metalli pesanti, ovvero metalli che hanno una densità maggiore di 5 g/cm^3 . Sebbene molti tra questi metalli siano classificati come inquinanti prioritari, gran parte di essi risulta tuttavia necessaria per supportare l'attività biologica, tuttavia quantità eccessive possono causare fenomeni di tossicità.

Le sostanze organiche contenute nelle acque sono generalmente costituite da combinazioni di atomi di carbonio, idrogeno, ossigeno ed in alcuni casi azoto.

Le principali classi di composti sono:

- Tensioattivi: sono molecole organiche di grandi dimensioni caratterizzate da una scarsa solubilità in acqua; si tratta di un'ampia classe di sostanze che possono essere suddivise in ionici (cationici o anionici) che si dissociano in acqua (denominati anche MBAS, Methylene Blue Active Substances) e non ionici (denominati anche BiAS). La loro presenza è causa di problemi di ordine tecnico perché creano difficoltà alla sedimentazione ed agli scambi gassosi all'interfaccia liquido gas, e problemi organolettici in quanto a basse concentrazioni (0.2 ppm) producono sapori sgradevoli ;
- Fenoli: sono i composti derivati dal fenolo. La loro presenza in acque superficiali è certamente di origine antropica. I composti fenolici, sono caratterizzati da elevata tossicità nei confronti delle specie animali;
- Gli oli e i grassi animali e vegetali sono gliceridi; i gliceridi a basso peso molecolare sono liquidi (oli), mentre quelli a elevato peso molecolare sono solidi (grassi). Gli oli minerali sono costituiti da idrocarburi;
- Oli minerali: sono tutti i derivati del petrolio (nafta, lubrificanti). Possono ritrovarsi in acque superficiali, dovuto sostanzialmente a delle perdite. Non

presentano elevata tossicità (a meno che non siano presenti additivi). Conferiscono sapore e odore sgradevole ;

- Grassi animali e vegetali: hanno la caratteristica di alterare gli scambi gassosi tra atmosfera e liquido, non presentano tuttavia problemi di tossicità diretta;
- Solventi organici: si tratta di una classe che comprende un numero estremamente elevato di composti di sintesi di varia natura. Si tratta solitamente di composti poco biodegradabili e molto tossici già a concentrazioni molto basse ($\mu\text{g/l}$).

L'ossigeno disciolto nelle acque risulta un parametro fondamentale per la salute dei corpi idrici in quanto è legato alla vita degli organismi presenti in acqua.

Un concetto molto importante connesso alla presenza di sostanze organiche è la quantità di ossigeno associata alla degradazione di quel composto per via microbiologica. Per questo motivo il contenuto di sostanze organiche viene solitamente espresso attraverso i parametri:

- BOD, Biochemical Oxygen Demand, ovvero la quantità di ossigeno (mg/l) consumato dai batteri aerobi per mineralizzare le sostanze organiche presenti nel campione. Come visibile in Fig.35, l'andamento del BOD nel tempo ha un andamento esponenziale decrescente che con tempi lunghi, tende al limite BOD_{TOT} .

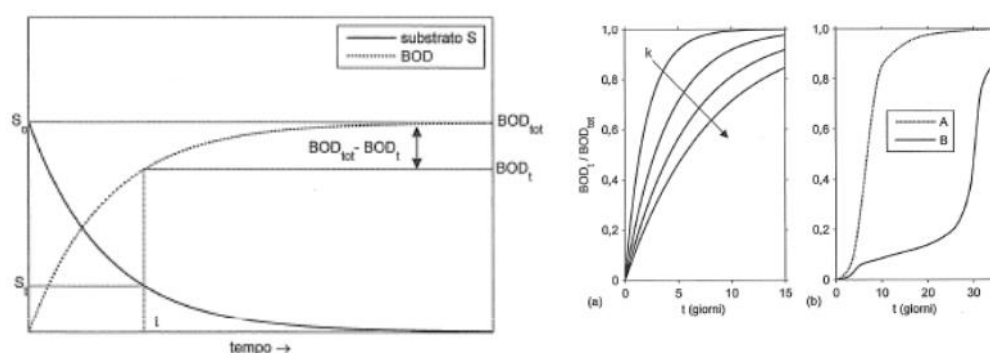


Figura 32: A sinistra è riportato l'andamento della differenza tra il BOD totale e il BOD in funzione del tempo. A destra è rappresentato il rapporto tra il BOD in funzione del tempo e il BOD totale.

Se volessimo esprimere la quantità di ossigeno consumata in un tempo generico t , avremmo la seguente espressione:

$$BOD_t = BOD_{TOT}(1 - e^{-k_e t})$$

Come parametro di riferimento solitamente ci si riferisce al BOD_5 , ovvero alla quantità di ossigeno consumato in cinque giorni alla temperatura di 20°C.

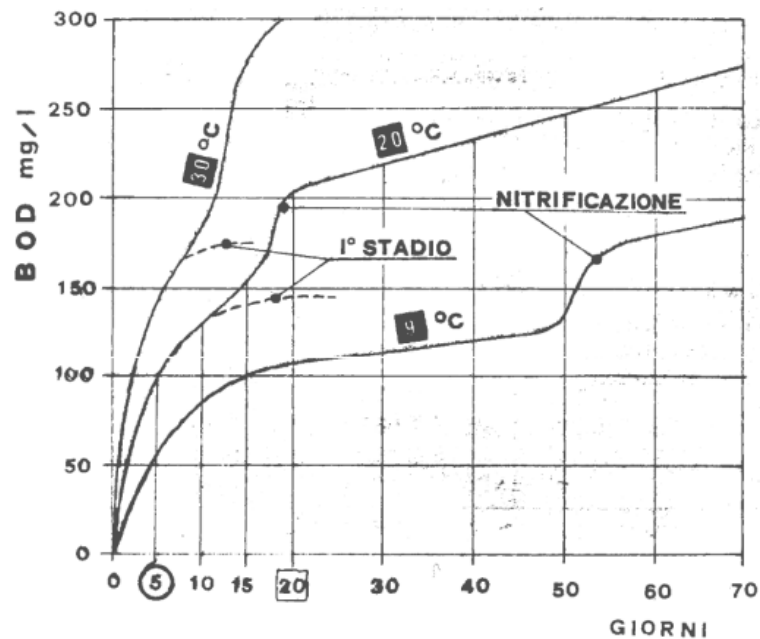


Figura 33: Variabilità del BOD in funzione della temperatura

- Il COD (Chemical Oxygen Demand) esprime la quantità di ossigeno necessaria per la completa ossidazione dei composti organici ed inorganici presenti in un campione di acqua. Rappresenta un indice che misura il grado di inquinamento dell'acqua da parte di sostanze ossidabili. Il metodo si basa sull'ossidazione delle sostanze presenti in un campione d'acqua, mediante una soluzione di bicromato di potassio in presenza di acido solforico concentrato e di solfato di argento, come catalizzatore. La reazione di ossidazione viene condotta a 150°C per 2 ore. L'eccesso di dicromato viene successivamente titolato. Tenendo conto che 1 mole di bicromato di potassio consumata corrisponde a 1,5 moli di O_2 , si risale al consumo di ossigeno del campione di acqua in esame. La metodica è standardizzata.
- IB, indice di biodegradabilità: rapporto BOD/COD .
- I_{vb}, velocità di biodegradabilità: rapporto tra BOD_5/BOD_{20} .

In generale, se IB e I_{vb} sono maggiori di 0.5, il refluo inquinato seguirà un trattamento biologico; se IB e I_{vb} sono minori di 0.5, il refluo seguirà un trattamento chimico.

Il pH esprime la concentrazione di ioni H^+ , esso è strettamente correlato alla dissociazione delle molecole di acqua in soluzione, dove per definizione: $pH = -$

$\log_{10}[\text{H}^+]$. Esso risulta un parametro fondamentale nella caratterizzazione qualitativa delle acque reflue in quanto regola tutti gli equilibri chimici in soluzione, regola le reazioni biologiche e determina le specie chimiche che si trovano in soluzione. La maggior parte delle attività biologiche ha luogo in un intervallo piuttosto ristretto di valori di pH (6-9), per questo i trattamenti depurativi di tipo biologico risultano applicabili con difficoltà nel caso di pH esterni da questo range, in quanto, in assenza di opportune correzioni, lo sversamento di tali reflui può produrre significative alterazioni delle caratteristiche di qualità dei corpi idrici recettori.

Il contenuto delle acque reflue, dal punto di vista biologico, vede la presenza di microorganismi di origine naturale e antropica; questa risulta praticamente inevitabile, ma non sempre pericolosa in quanto solo alcuni organismi sono quelli patogeni.

Le principali forme di microrganismi presenti nelle acque possono essere classificate in:

- Batteri: organismi unicellulari, con grandezza compresa tra 0,5 e 5 μm , possono essere dotati o meno di mobilità ed il loro tempo medio di sopravvivenza è di 20-30 giorni.
- Virus: sono organismi piccolissimi (10 – 500 nm) e sono parassiti, cioè hanno bisogno di una cellula ospite della quale sfruttano i processi metabolici. La maggior parte sono patogeni per l'uomo.
- Protozoi: sono organismi unicellulari di dimensioni comprese tra 10 e 100 μm . Alcuni di questi sono parassiti e patogeni per l'uomo. Possono sopravvivere nell'ambiente per non più di 20-30 giorni
- Elminti: sono organismi pluricellulari di dimensioni molto maggiori rispetto agli altri microrganismi.

7.4 Tipologie di trattamento

I trattamenti di depurazione delle acque reflue hanno la finalità generale di portare la qualità delle acque reflue a definiti livelli di qualità, in funzione della destinazione prevista. Tutti i trattamenti delle acque sono riconducibili ad operazioni di separazione, per mezzo delle quali gli inquinanti contenuti nelle acque reflue sono appunto separati dalla corrente idrica che li trasporta e concentrati in una diversa fase

liquida e/o solida, detta fanghi. Poiché i sistemi biologici sono di solito meno costosi dei loro equivalenti fisici e chimici e a causa dell'alto costo associato alle attuali stringenti necessità di rispetto ambientale, si predilige, se possibile, utilizzare il primo sistema. Tuttavia questo non sempre risulta possibile in quanto le sostanze contaminanti presenti nelle acque di scarico industriali spesso costituiscono un problema più complesso rispetto a quelle presenti negli scarichi urbani poiché la maggiore varietà di sostanze xenobiotiche a concentrazioni superiori, la carenza di nutrienti, il pH, la salinità e i livelli di metalli pesanti, nonché le più basse velocità di crescita batterica, richiedono una maggiore attenzione negli studi di trattabilità tesi a determinare i parametri necessari al progetto. Tuttavia, una volta scelti i bioreattori aerobici possono essere progettati e fatti funzionare così da soddisfare i limiti determinati dalle normative vigenti.

7.5 Trattamento chimico fisico

Le acque reflue di origine industriale, in base alla loro composizione, possono subire direttamente un trattamento biologico oppure, nell'eventualità in cui siano presenti condizioni tossiche per la flora batterica dell'impianto biologico, queste subiscono dapprima un trattamento chimico-fisico.

La sezione di trattamento chimico-fisico ha lo scopo di separare dal refluo sostanze inquinanti quali Metalli, Solidi Sospesi, Idrocarburi, facendole precipitare sotto forma di fanghi. Questa tipologia di trattamenti risulta necessaria in quanto tali sostanze non possono essere abbattute nella successiva sezione biologica, in particolare il ciclo di lavorazione adottato sarà in funzione dei parametri da abbattere. Per reflui acidi o basici, risulta essenziale riportare il pH a valori standard in modo da non compromettere l'attività batterica nello stadio biologico, per questo, tramite opportuni reattori viene effettuata una reazione di neutralizzazione tra refluo ed un altro opportuno reagente, in modo da ottenere una soluzione con pH compatibile all'attività batteriologica, e la precipitazione sul fondo del reattore del fango.

Un'altra linea di trattamento dei reflui di origine industriale è quella tramite evaporatori, utilizzata per una notevole quantità di tipologie di soluzioni quali, soluzioni saline, emulsioni, soluzioni con tensioattivi, acque galvaniche, acque inchiostrate.

L'evaporatore è l'apparecchiatura atta ad ottenere l'evaporazione di un solvente in una soluzione contenente un soluto poco volatile in seguito all'immissione di calore.

Per migliorare il consumo energetico di un evaporatore sono state introdotte delle configurazioni più complesse ma che garantiscono un sensibile risparmio energetico. Gli schemi a multiplo effetto sfruttano il fatto che il solvente evaporato, ricondensando, cede una quantità di calore circa uguale a quella ricevuta in fase di evaporazione. Inviando quindi i vapori di solvente ad uno scambiatore di calore, si potrà riscaldare nell'altro lato il liquido di processo. Se si ha un solo passaggio, si ha un sistema a singolo effetto; con due passaggi a doppio effetto e così via per n passaggi si ha n -uplo effetto. Il numero di effetti economicamente conveniente dipende dalla natura del solvente e del soluto, in particolare dipende dalla differenza del punto di ebollizione della soluzione e del solvente.

Un'altra tipologia costruttiva riguarda gli evaporatori a multiplo stadio, questi sono energeticamente più costosi dei multipli effetti, e vengono usati, nella concentrazione di prodotti ad alto e altissimo innalzamento ebulliscopico. Gli evaporatori, in numero variabile, sono tutti alimentati dalla stessa sorgente energetica, e i vapori di solvente separati vengono condensati; il liquido di processo passa da uno stadio all'altro per concentrarsi. Si tratta in pratica di evaporatori a singolo effetto in cui il risparmio energetico, se c'è, è dovuto solo al recupero del calore sensibile nel passaggio da uno stadio all'altro.

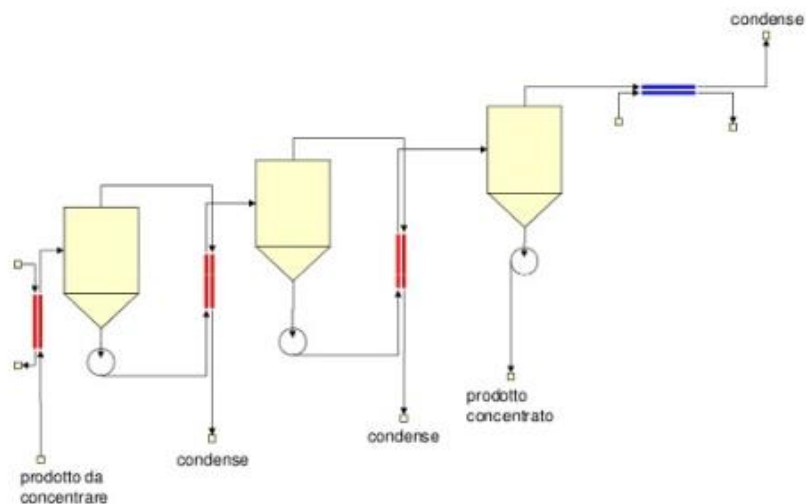


Figura 34: Evaporatore a triplice effetto equicorrente

Un'ulteriore tipologia di evaporatori risulta quella degli evaporatori sottovuoto. In questi, si ha un notevole risparmio energetico in quanto, il fluido essendo sottovuoto, ha una temperatura di ebollizione inferiore.

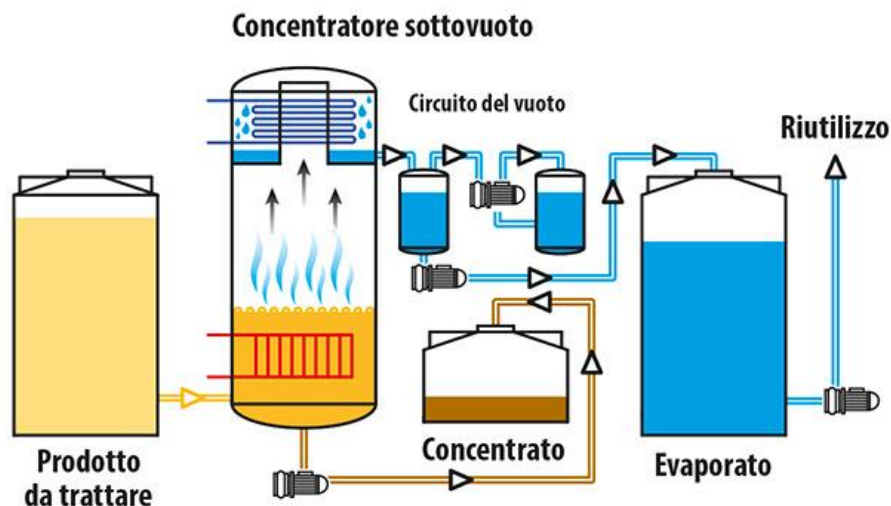


Figura 35: Principio di funzionamento di un concentratore sottovuoto

Gli impianti di evaporazione sottovuoto sono destinati alla concentrazione a bassa temperatura di soluzioni diluite termolabili o al trattamento ed alla depurazione di reflui inquinanti generati nelle varie fasi di lavorazione delle aziende industriali.

Alla fine del processo avremo che il condensato subirà un trattamento biologico, mentre la quota parte rimanente del refluo iniziale subirà una serie di trattamenti differenti in quanto ha alta concentrazione di sostanze inquinanti che dovranno esser abbattute mediante opportuni trattamenti.

7.6 Trattamento biologico

All'impianto di trattamento biologico arrivano i reflui provenienti dal trattamento chimico fisico, e i reflui di origine urbana che non necessitano di ulteriori lavorazioni. I sistemi di trattamento biologico utilizzano comunità di microbi per rimuovere o eliminare sostanze organiche e inorganiche, pericolose o meno, presenti nei liquami. Questi sistemi, appositamente studiati, riproducono la situazione ambientale e superano i limiti della natura, soprattutto quelli che derivano da squilibri locali che rallentano la velocità di autopurificazione.

Il processo di depurazione inizia dapprima con una serie di trattamenti primari o meccanici, quali la grigliatura, che permette di eliminare i solidi grossolani contenuti nei liquami che potrebbero ostruire le tubature.

Il processo di grigliatura avviene facendo passare il liquame attraverso una griglia avente varie forme posta trasversalmente al canale di arrivo; attraverso questa operazione vengono così trattenute tutte le materie ingombranti che saranno asportate tramite un'azione manuale o automatica.

Solitamente a valle del sistema di grigliatura vi è anche un sistema di triturazione, al fine di sminuzzare le sostanze che non sono state trattenute da esse.

Successivamente le condotte trasportano il refluo in vasche di equalizzazione e omogeneizzazione, le quali hanno l'obiettivo di regolare la portata e omogeneizzare il contenuto del refluo. La dissabbiatura è l'operazione finalizzata alla separazione dei materiali solidi inorganici con un peso specifico molto superiore a quello dell'acqua e delle sostanze organiche putrescibili, con dimensione compresa tra 0.15 mm e 0.3 mm. Generalmente i metodi di dissabbiatura utilizzati possono essere per gravità, ovvero tramite sedimentazione dei relativi materiali, oppure tramite opportune centrifughe, attraverso le quali i materiali più pesanti vengono raccolti sulle superfici esterne.

La disoleazione consiste nel separare dalle acque tutti i materiali più leggeri dell'acqua, quali oli e grassi. Negli impianti ordinari le modeste quantità di grassi che vi arrivano vengono in massima parte trattenute dai paraschiume che si dispongono all'entrata delle vasche di sedimentazione, dove vengono allontanate, insieme ad altre materie solide leggere, mediante schiumarole.

Infine si hanno le vasche di ossidazione, sede della vera linea di trattamento biologica.

Il trattamento biologico si basa sulla riduzione, attraverso il metabolismo microbico, della concentrazione delle sostanze inquinanti in modo da permettere il successivo sversamento degli effluenti depurati nei corpi idrici naturali. Utilizzando il carbonio e le fonti di energia presenti nell'ambiente, i microorganismi, quali batteri e funghi, convertono sia le sostanze inquinanti sia quelle non inquinanti in diossido di carbonio, acqua, massa cellulare e in una serie di altri composti. Indipendentemente dalla loro origine, le sostanze contaminanti idonee a essere distrutte forniscono energia o nutrimento (o entrambi) a un'associazione microbica preesistente o predisposta nell'impianto di trattamento degli scarichi. In entrambi i casi,

praticamente tutte le sostanze inquinanti che possono essere consumate dai microorganismi vengono definite biodegradabili o leggere. Nello specifico, questo significa che l'associazione microbica contiene l'informazione genetica necessaria per produrre enzimi catabolici che estraggono energia dalle sostanze inquinanti convertendole in prodotti biochimici intermedi. Gli enzimi delle vie anaboliche utilizzano l'energia estratta e i prodotti intermedi per sintetizzare i composti necessari affinché i microbi possano riprodursi. L'associazione microbica presente deve, quindi, possedere tutte le informazioni genetiche necessarie affinché le opportune reazioni biochimiche abbiano luogo, altrimenti la sostanza inquinante rimarrà nell'ambiente. In questo caso tale sostanza non è biodegradabile e viene conseguentemente definita resistente o dura.

Le sostanze inquinanti vengono giudicate pericolose o non pericolose indipendentemente dalla loro biodegradabilità. Una sostanza pericolosa per un gruppo di microorganismi può costituire una preziosa fonte di nutrimento per un altro gruppo. Di conseguenza, molti composti pericolosi possono essere biodegradati nell'ambiente, considerando tempi più o meno lunghi in base alla sostanza da abbattere. A causa della loro versatilità biochimica e ambientale, i batteri sono gli organismi più comunemente usati nei sistemi progettati per distruggere le sostanze inquinanti biodegradabili. Alcuni batteri crescono in strato sottile (*biofilm*) attaccati a superfici, altri crescono meglio senza attaccarsi ovvero in sospensione come organismi separati, formando grappoli o fiocchi. Gli aerobi stretti proliferano solo in presenza di ossigeno; gli anaerobi stretti non possono sopravvivere in presenza di ossigeno, mentre gli anaerobi facoltativi crescono sia in presenza che in assenza di ossigeno. I microorganismi convertono le sostanze inquinanti in nuova massa cellulare, diossido di carbonio, acqua e altri prodotti finali che variano a seconda della natura delle sostanze inquinanti e degli specifici microorganismi presenti.

Per la crescita, i microorganismi necessitano di una fonte di energia, di una fonte di carbonio e di nutrienti. Gli organismi fotoautotrofi, come le alghe, utilizzano la luce del Sole come fonte di energia e il diossido di carbonio come fonte di carbonio; gli organismi chemioautotrofi usano una sostanza inorganica ridotta come l'ammoniaca o il ferro a numero di ossidazione +2 quale fonte di energia e il diossido di carbonio come fonte di carbonio; gli organismi eterotrofi utilizzano sostanze organiche come fonte sia di energia sia di carbonio. I nutrienti sono gli elementi che non si trovano né nella fonte di carbonio né in quella energetica, e sono necessari alle cellule viventi

per produrre proteine, carboidrati, grassi, acidi nucleici, che contengono un'ampia varietà di elementi tra cui carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, fosforo e zolfo. Inoltre le proteine, se utilizzate come enzimi, hanno bisogno di metalli in tracce quali sodio, potassio, ferro, manganese, magnesio e calcio. I nutrienti richiesti a concentrazioni relativamente elevate sono detti macronutrienti (per es., azoto e fosforo), quelli necessari a basse concentrazioni prendono il nome di micronutrienti (per es., metalli presenti in tracce). Alcune cellule non contengono l'informazione genetica per sintetizzare determinate sostanze organiche intracellulari necessarie, come alcuni amminoacidi e vitamine. Sia i nutrienti inorganici sia questi essenziali intermedi organici preformati devono essere presenti nell'ambiente oppure devono essere forniti agli organismi affinché questi possano crescere.

Una popolazione microbica s'instaura nell'ambiente o in un sistema progettato per l'eliminazione delle sostanze inquinanti se sono disponibili tutti i nutrienti necessari, una fonte di carbonio e una di energia, e se i suoi membri contengono l'informazione genetica per produrre gli enzimi catabolici che estraggono energia dalle sostanze inquinanti.

Nel trattamento biologico delle acque di scarico vengono impiegati sia sistemi a biofilm fisso (per es., filtri percolatori), sia sistemi in cui si ha una crescita a biomassa sospesa, come i sistemi a fanghi attivi. I composti solidi di origine biologica prodotti in tali sistemi contengono biomassa vivente e morta insieme con sostanze solide sospese che sono parzialmente decomposte dai batteri presenti nell'impianto di trattamento.

Ad oggi il trattamento biologico più utilizzato risulta quello a fanghi attivi. I fanghi attivi o attivati sono una sospensione in acqua di biomassa attiva, ovvero un insieme di batteri e altri microorganismi, i quali, si aggregano sotto forma di fiocchi insieme alla sostanza organica presente nel refluo. Il ruolo di questa biomassa è quello di utilizzare le sostanze organiche biodegradabili presenti nel refluo, degradandole a composti più piccoli e meno pericolosi che in parte vengono utilizzati dai microorganismi stessi per il proprio nutrimento e la riproduzione.

Il vantaggio del trattamento a fanghi attivi rispetto alla depurazione naturale è che la flora microbica utilizzata per trattare le acque di scarico, anziché rimanere dispersa nell'effluente trattato tende ad agglomerarsi formando dei fiocchi che, se posti in condizioni di quiete tendono a sedimentare e possono essere separati con facilità dal

surnatante, ovvero dai liquami chiarificati che rimangono in superficie. Al fine di mantenere un'elevata attività batterica è necessario avere una quantità di ossigeno di circa 2 mg/l. L'aerazione dei liquami può dunque essere effettuata con:

- metodi ad aerazione meccanica
- metodi ad insufflamento d'aria compressa
- metodi a insufflamento di O₂

Nel primo metodo l'aerazione si ottiene frammentando l'acqua in minutissime gocce che vengono spruzzate nell'atmosfera, dove assorbono ossigeno per poi ricadere dentro la massa liquida.

Il metodo meccanico tradizionale è quello Kessener in cui l'agitazione è prodotta in corrispondenza della superficie della vasca per mezzo di uno spazzolone cilindrico o di lamine fissate a un asse longitudinale girevole situato lungo un lato, mentre dal lato opposto è situato un deflettore, in modo che il liquame è costretto a girare in modo continuo intorno alla vasca.

Abbastanza diffuso è il metodo di aerazione meccanica per mezzo di turbine, che ruotano orizzontalmente, immerse a 5–15 cm di profondità.

Nei metodi ad insufflamento d'aria compressa, di solito migliori dei primi, l'ampliamento della superficie di contatto gas-acqua si ottiene mediante l'introduzione nella massa liquida, a una opportuna profondità, di bollicine d'aria. Il rapporto percentuale tra il peso di O₂ assorbito dall'acqua nell'unità di tempo e quello fornito si chiama efficacia di aerazione (E). I sistemi a bolle minute rendono più facile la dissoluzione di O₂ nell'acqua (E elevato) ma hanno un basso potere rimescolante del miscuglio fango-liquame, quelli a bolle più grossolane hanno i vantaggi inversi e inoltre risultano più economici. Solitamente le bolle vengono immesse nella vasca attraverso dei diffusori posti sul fondo della stessa.

Nel terzo metodo, molto costoso ed efficace, viene utilizzato direttamente ossigeno allo stato liquido stipato in serbatoi, il quale viene erogato allo stato gassoso mediante insufflatori posti, sul fondo della vasca di ossidazione.

È fondamentale ottenere un'ossigenazione della vasca uniforme, evitando di lasciare zone anossiche e cercando in questo metodo di ottenere un ottimale mescolamento del fango attivo, in modo da limitare fenomeni di putrescenza e maleodoranza.

I fanghi, depositati sul fondo, vengono raccolti e avviati ad una linea di trattamento fanghi. Solitamente si utilizzano processi quali filtropresse o centrifughe per eliminare la componente acquosa e innalzare la componente di secco finale.

Quest'ultima aliquota verrà poi trattata tramite sistemi aerobi e anaerobi: i primi stabilizzano i fanghi di depurazione mineralizzando le sostanze organiche biodegradabili (cioè producendo diossido di carbonio e acqua), riducendo così la massa di fanghi di depurazione che deve essere eliminata negli inceneritori o smaltita sul terreno come ammendante del suolo o come fertilizzante. I digestori anaerobici ottengono risultati simili producendo metano e idrogeno, gas spesso utilizzati per produrre elettricità.

8 Analisi energetico-economica del trattamento biologico con il neo impianto ad ossigeno liquido

Nel mese di Maggio la Waste recycling ha fatto una sostanziale modifica al proprio impianto di depurazione passando da un sistema di ossigenazione ad aria ad uno a ossigeno liquido. Questa innovazione è stata apportata alla vasca di ossidazione circolare, quella più grande e profonda, in modo che l'ossigeno iniettato sul fondo sia completamente solubilizzato. Il passaggio a questa nuova tecnologia è stato dettato da una scelta puramente tecnica, in quanto doveva essere limitato l'emissione di maleodoranze prodotte da fenomeni di putrescenza dovute ad un abbassamento del livello di ossigeno nel refluo. Con il vecchio sistema, l'aumento della potenza dei compressori, e dunque della portata d'aria, non era sufficientemente rapida a contrastare questo fenomeno.

Il nuovo impianto di ossigenazione prevede l'iniezione di ossigeno gassoso alle mandate delle pompe di ricircolo dei fanghi; dopo il miscelamento viene insufflato sul fondo della vasca. Il quantitativo di ossigeno viene regolato da un controllore in retroazione con la misura del livello di ossigeno nel refluo, effettuata tramite due sonde poste all'entrata e all'uscita dalla vasca.

Il passaggio ad ossigeno liquido ha visto una notevole riduzione dei consumi elettrici in quanto una coppia di compressori da 130 kW cadauno è stata dismessa a fronte dell'installazione della nuova pompa dell'ossigeno liquido, della potenza di 90 kW. Questo passaggio ha visto tuttavia il costo emergente di acquisto dell'ossigeno liquido, che, come successivamente descritto, dal punto di vista economico, avrà una grande incidenza.

Sono stati analizzati i consumi registrati al quadro elettrico che alimenta il sistema di ossigenazione della vasca circolare nel mese di Aprile e Maggio, ovvero rispettivamente *ante* e *post* intervento. Queste rilevazioni avevano una cadenza giornaliera e, grazie alla misura della portata di refluo trattato, è stato possibile definire il consumo specifico di energia elettrica giornaliero definito come il rapporto tra l'energia consumata e il volume di refluo trattato quotidianamente.

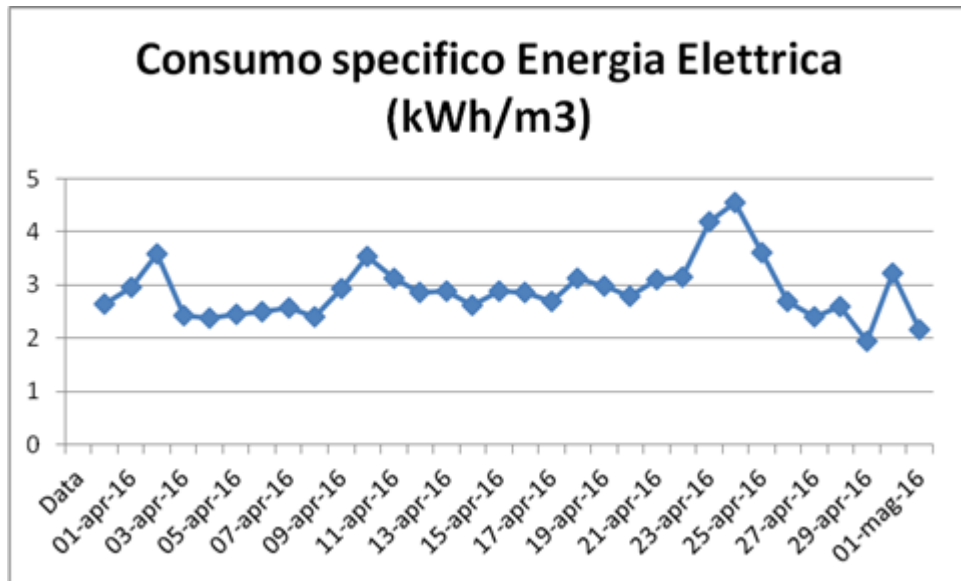


Figura 36:Consumo specifico di energia elettrica con l'impianto di ossigenazione ad aria(ascissa:giorno;ordinata(kWh/m3))

Dal grafico di Fig.39 si evince come il consumo specifico risulti oscillante, sintomo che il consumo di energia è fortemente dipendente dalle caratteristiche del refluo.

Successivamente è stato stimato il costo specifico, espresso in $\frac{\text{€}}{\text{m}^3}$, dove il costo medio dell'energia elettrica è stato calcolato rapportando il costo totale dell'ultima bolletta all'energia consumata. Il costo specifico così calcolato è stato di $0,48 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$.

Con il passaggio ad ossigeno liquido, ai fini della determinazione di un costo specifico, la precedente formula va modificata sommandovi il costo specifico di ossigeno, particolarmente rilevante in quanto il costo di acquisto è risultato di $0,1 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$.

Analogamente a prima è stato calcolato il consumo specifico di energia elettrica; non è stato possibile calcolare il consumo specifico giornaliero di ossigeno in quanto non eravamo in possesso di una misura giornaliera ma solamente di una misura complessiva, pertanto è stato definito un parametro di consumo specifico di ossigeno come valore medio mensile.

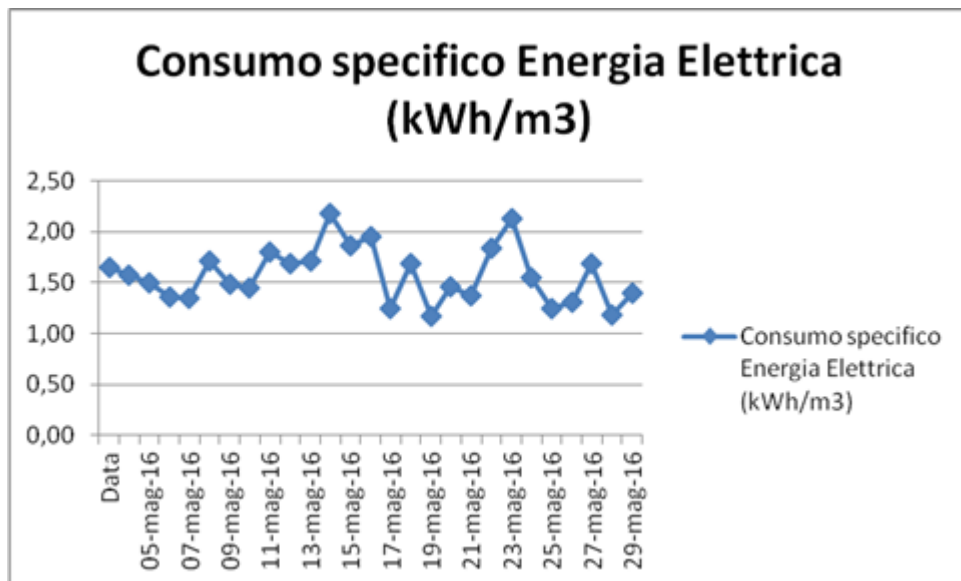


Figura 40: Consumo specifico di Energia Elettrica con il neo impianto ad ossigeno liquido(ascissa:giorno;ordinata(kWh/m3))

In Fig.40 è stato graficato l'andamento del consumo specifico di energia elettrica con il nuovo impianto ad ossigeno liquido. Si può notare come il consumo sia circa dimezzato rispetto a quello constatato con il vecchio impianto. Tuttavia complessivamente il costo specifico totale risulta aumentato di oltre il 30% in quanto si è attestato a $0,65 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$, dovuto all'ingente quantità di ossigeno consumata, circa $3,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, e al suo elevato costo.

In ogni caso, il refluo in uscita dalla prima vasca di ossidazione presenta delle caratteristiche nettamente migliori rispetto a prima; pertanto, nelle vasche di ossidazioni successive, il nuovo refluo dovrebbe richiedere consumi inferiori.

Per questo, per una valutazione più pertinente, è stato proposto la definizione di un KPI che rapportasse il consumo elettrico delle tre vasche di ossidazione, al volume di refluo trattato. Questa misura al momento non risulta disponibile in quanto attualmente le altre due vasche non sono dotate di strumentazione di misura, ma il progetto i-Waste, come descritto nel Cap.1, prevede l'installazione di sistemi di misura sui tre quadri che alimentano le vasche di ossidazione.

9 Conclusioni

Il presente lavoro ha portato a conclusione la prima fase del progetto di collaborazione tra l'Università di Pisa e la Waste Recycling nell'ambito del contratto regionale iWaste, portando a compimento gli obiettivi preposti.

L'identificazione del processo ha permesso di capire il funzionamento dell'impianto, in particolare le logiche con cui vengono determinati i trattamenti per ogni tipologia di rifiuto. Questo ha portato alla redazione di una descrizione del processo, seguita da vari diagrammi di flusso per ogni linea di trattamento.

Dopo questa panoramica sui cicli di lavorazione, sono stati identificati i flussi di materia ed energia. In questa fase sono state determinate le utenze più energivore, sulle quali abbiamo concentrato le nostre analisi, e sulle quali, nell'ambito del progetto iWaste, sono attualmente in fase di installazione dei sistemi di misura puntuali. Questo permetterà di avere un monitoraggio continuo dei processi; inoltre i dati risulteranno accessibili in rete in quanto verranno integrati all'interno di un software gestionale, il quale implementerà gli indici di efficienza, da noi definiti, per avere un parametro sintetico e qualitativo del processo in atto.

Nella successiva fase del progetto, a seguito dell'installazione di apparecchiature di misura più puntuali sulle sezioni di impianto qui identificate come più d'interesse, potranno essere affinate e calibrate le azioni di efficientamento energetico proposte in questa tesi.

10 Bibliografia

- AEEGSI. (2007). Testo integrato delle disposizioni dell'autorità per l'energia elettrica e il gas per l'erogazione dei servizi di vendita dell'energia elettrica di maggior tutela e di salvaguardia ai clienti finali. *TIV*.
- AEEGSI. (2016). Testo integrato delle disposizioni per l'erogazione dei servizi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. *TIT*.
- AEEGSI. (2016). Testo integrato delle disposizioni per l'erogazione del servizio di misura dell'energia elettrica. *TIME*.
- Camille A. Irvine, D. A. (2008). *Depurazione biologica*.

11 Appendice

